



TUGAS AKHIR TF 141581

# **IMPLEMENTASI *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM)* PADA PROSES GAS KRIOGENIK**

FANI WAHYU RAHARDITO  
NRP 2413.105.032

Dosen Pembimbing :  
Totok Ruki Biyanto, Ph.D

Jurusan Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016



***FINAL PROJECT TF 141581***

***IMPLEMENTATION OF RELIABILITY CENTERED  
MAINTENANCE (RCM) ON GAS KRIOGENIC***

***FANI WAHYU RAHARDITO***

***NRP 2413.105.032***

***Advisor Lecturer :***

***Totok Ruki Biyanto, Ph.D***

***Department of Engineering Physics  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2016***

## LEMBAR PENGESAHAN

### TUGAS AKHIR

## **IMPLEMENTASI *RELIABILITY CENTERED* MAINTENANCE (RCM) PADA SISTEM GAS KRIOGENIK**

OLEH:

**FANI WAHYU RAHARDITO**  
**NRP. 2413.105.032**

**Surabaya, Januari 2016**

**Mengetahui/Menyetujui,**

Ketua Jurusan  
Teknik Fisika FTI ITS



**Agus Muhamad Hatta, ST, MSi, Ph.D**  
**NIP:197809022003121002**

Dosen Pembimbing,

**Totok Ruki Biyanto, Ph.D**  
**NIP:197107021998021001**

## **LEMBAR PENGESAHAN**

### **TUGAS AKHIR**

### **IMPLEMENTASI *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM)* PADA SISTEM *FLASH GAS COMPRESSION***

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada

Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

Oleh :

**FANI WAHYU RAHARDITO**  
**NRP. 2413.105.032**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Totok Ruki Biyanto, Ph.D..... (Dosen Pembimbing)
2. Dr. Ir. Ali Musyafa', MSc..... (Ketua Penguji)
3. Hendra Cordova, ST, MT ..... (Dosen Penguji I)
4. Detak Yan Pratama ST MSc ..... (Dosen Penguji II)
5. Bagus Tris Atmaja, ST, MT..... (Dosen Penguji III)

**SURABAYA**  
**Januari 2016**

## ABSTRAK

Dalam penelitian tugas akhir ini dilakukan implementasi reliability centered maintenance (RCM) pada proses gas kriogenik. Dimana dalam proses tersebut dilakukan analisa data secara kualitatif dan secara kuantitatif. Tujuan dari penelitian ini adalah Mengetahui komponen-komponen kritis pada sistem gas kriogenik Mengetahui kehandalan komponen berdasarkan data perawatan (maintenance record) pada sistem gas kriogenik serta mengetahui usaha pencegahan yang dilakukan terhadap unit pada sistem gas kriogenik agar tidak terjadi kegagalan. Komponen penyusun sistem gas kriogenik yang dikategorikan sebagai komponen kritis adalah sebagai berikut: *exchanger*, *compressor*, *valve*, pompa dan *transmitter*. Berdasarkan dari data analisa kuantitatif pada sistem gas kriogenik didapatkan Interval perawatan yang paling tinggi pada interval jam operasi *valve*, *exchanger*, *compressor*. Hasil yang didapatkan berupa jadwal perawatan yang optimal untuk setiap komponen penyusun sistem, dan dari hasil penerapan RCM telah dibuat tabel RCM yang mendeskripsikan sistem secara mendetail menjawab tujuh pertanyaan dasar tentang RCM sebagai rekomendasi kegiatan dalam rangkan pencegahan kegagalan.

**Kata kunci: RCM, system gas kriogenik, komponen kritis**

## ABSTRACT

*In this final project research is done implementing reliability centered maintenance (RCM) in the process of cryogenic gas. Where in the process of data analysis is done qualitatively and quantitatively. The aim of this study is Knowing these critical components on a cryogenic gas system Knowing the reliability of components based on data maintenance (maintenance record) at cryogenic gas system and determine prevention efforts were made to units in cryogenic gas system in order to avoid failure. Components of the cryogenic gas systems categorized as critical component is as follows: exchangers, compressors, valves, pumps and transmitter. Based on the quantitative analysis of data on cryogenic gas system maintenance intervals obtained the highest in the interval hours of operation valve, exchanger, compressor. Results obtained in the form of optimal treatment schedules for each component of the system, and the results of the application of RCM RCM has made a table that describes in detail the system of answering seven basic questions about RCM as recommendations in canoes failure prevention activities.*

***Keywords: RCM, cryogenic gas system, a critical component***

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan YME atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir beserta laporanya yang berjudul :

### **“IMPLEMENTASI *REALIBILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM)* PADA SISTEM *FLASH GAS COMPRESSION*”GAS KRIOGENIK”**

Selama pengerjaan tugas akhir ini, penulis telah mendapatkan bantuan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, ST, MSi, Ph.D\_ selaku Kepala Jurusan Teknik Fisika ITS Surabaya dan dosen wali penulis yang telah memberikan arahan selama menjalani masa perkuliahan hingga menyelesaikan tugas akhir ini
2. Bapak Totok Ruki Biyanto, Ph.D atas kesabarannya yang telah membimbing, memotivasi dan memberikan banyak pengetahuan kepada penulis selama pengerjaan tugas akhir hingga penyusunan laporan.
3. Bapak Dr. Ir. Ali Musyafa', MSc , Bapak Hendra Cordova, ST, MT, Bapak Detak Yan Pratama ST MSc , Bapak Bagus Tris Atmaja, ST, MT selaku dosen penguji tugas akhir yang telah membimbing, memotivasi dan memberikan banyak pengetahuan kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak/Ibu dosen Teknik Fisika ITS, yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
5. Seluruh karyawan dan karyawan Teknik Fisika ITS atas pelayanan yang diberikan.
6. Bapak, Ibu, Adik-adik dan seluruh keluarga yang telah menjadi inspirasi dan motivas penulis dalam menyelesaikan studi di jurusan Teknik Fisika FTI ITS

7. Awal in Pebriani, Ahmad Hisyam, Candra Lutfian A, Arif Rachmat H, Reza Zulfan, dan seluruh mahasiswa Teknik Fisika, khususnya angkatan 2010, para alumni yang pernah berinteraksi dengan penulis. Terima kasih atas kebersamaan yang indah, segala bantuan dan motivasi.
8. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih terdapat kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak demi tercapainya hasil yang lebih baik. Semoga laporan tugas akhir ni dapat memberikan manfaat bagi semua pihak

Surabaya, Januari 2016

Penulis



# DAFTAR ISI

	Hal.
<b>LEMBAR JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvii</b>

## **BAB I PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan .....	3
1.5 Metodologi Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Laporan .....	3

## **BAB II TEORI PENUNJANG**

2.1 Sistem Kriogenik .....	5
2.1.1 <i>Inlet Gas Exchanger</i> .....	5
2.1.2 <i>Cold Separator</i> .....	5
2.1.3 <i>Turbo Expander/Recompressor</i> .....	6
2.1.4 <i>De-ethanizer Column</i> .....	6
2.1.5 <i>De-ethanizer Reboiler</i> .....	7
2.1.6 <i>De-ethanizer Reflux Accumulator</i> .....	8
2.2 Keandalan .....	9
2.3 <i>Preventive Maintenance</i> .....	10
2.3.1 <i>Time Directed (TD)</i> .....	10
2.3.2 <i>Condition Directed (CD)</i> .....	11
2.3.3 <i>Failure Finding (FF)</i> .....	11
2.3.4 <i>Run To Failure (RTF)</i> .....	11
2.4 Predictive Maintenance .....	11
2.5 Laju Kegagalan .....	12
2.5.1 <i>Distribusi Normal (Failure Rate)</i> .....	12

2.5.2.	Distribusi Lognormal .....	13
2.5.3	Distribusi Weibull .....	14
2.5.4.	Distribusi Eksponensial.....	16
2.6	<i>Maintainability</i> .....	17
2.7	<i>Availability</i> .....	17
2.8	<i>Preventive Maintenance</i> .....	18
2.9	FMEA ( <i>Failure Mode and Effects Analysis</i> ).....	20
2.10	<i>Reliability Centered Maintenance (RCM)</i> .....	21
2.11	<i>System Function &amp; Function Failure</i> .....	22
2.12	<i>Saverity Class Type</i> .....	23
2.13	<i>Failure Mode &amp; Effect Analysis</i> .....	24
2.14	Konsekuensi Kegagalan ( <i>Failure Consequence</i> ) ....	26
2.15	<i>Proactive Task &amp; Initial Interval</i> .....	26
2.16	<i>Default Action</i> .....	27

### **BAB III METODOLOGI**

3.1	Pengambilan Data .....	30
3.2	Identifikasi Sistem, Unit, dan Komponen Sistem Kriogenik .....	30
3.2.1	<i>Inlet Gas Exchanger 482-H-01</i> .....	31
3.2.2	<i>Cold Separator 482-V-01</i> .....	31
3.2.3	<i>Turbo Expander 482-C-01</i> .....	32
3.2.4	<i>De-Ethanizer Column 482-V-02</i> .....	32
3.2.5	<i>De-Ethanizer Reflux Exchanger 482-H-02</i> ...	33
3.2.6	<i>De-Ethanizer Reflux Pump 482-P-01</i> .....	34
3.2.7	<i>Re-Compressor 482-C-02</i> .....	34
3.2.8	<i>Cooler System :Recompressor 482-H-09</i> .....	34
3.3	Tahap Pengolahan dan Analisa Data .....	34
3.3.1	Analisa Kualitatif .....	34
3.3.2	Analisa Kuantitatif .....	36
3.4	Managemen Perawatan .....	41

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1	Analisa Data Secara Kualitatif .....	43
4.2	<b><i>Exchanger 482-H-01</i></b>	

4.1.1	<i>Exchanger 482-H-01</i> .....	43
4.1.1	<i>Level Valve</i> .....	43
4.1.2	<i>Pressure Safety Valve</i> .....	48
4.1.3	<i>2<sup>nd</sup> Stage Flash Gas Compressor</i> .....	52
4.1.4	<i>Blowdown Valve</i> .....	57
4.1.5	<i>2<sup>nd</sup> Stage Flash Gas Compressor Recycle Cooler</i> .....	61
4.1.6	<i>Motor Cooling</i> .....	65
4.1.7	<i>Shutdown Vave</i> .....	68
4.1.8	<i>Temperature Indicator Field Mounted</i> .....	74
4.1.9	<i>Temperature Indicator Panel Mounted</i> .....	75
4.1.10	<i>Pressure Indicator Field Mounted</i> .....	76
4.1.11	<i>Pressure Indicator Panel Mounted</i> .....	78
4.1.12	<i>Pressure Indicator Field Mounted</i> .....	80
4.1.13	<i>Pressure Indicator Panel Mounted</i> .....	81
4.3	<i>Analisa Data Secara Kuantitatif</i> .....	83
4.2.1	<i>1<sup>st</sup> Stage Flash Gas Compressor</i> .....	83
4.2.2	<i>2<sup>nd</sup> Stage Flash Gas Compressor</i> .....	86
4.2.3	<i>1<sup>st</sup> Stage Flash Gas Compressor Recycle Cooler</i> 90	
4.2.4	<i>2<sup>nd</sup> Stage Flash Gas Compressor Recycle Cooler</i> .....	94
4.2.5	<i>2<sup>nd</sup> Stage Flash Gas Compressor Suction Scrubber</i> .....	98
4.2.6	<i>Level Valve</i> .....	100
4.2.7	<i>Pressure Valve</i> .....	102
4.2.8	<i>Blowdown Valve</i> .....	105
4.2.9	<i>Motor Recycle Cooler</i> .....	107
4.2.10	<i>Shut Down Valve</i> .....	109
4.2.11	<i>Nilai Keandalan (Reliability) Komponen Sistem Flash Gas Compression pada jam ke 2000</i> .....	111
4.4	<i>Hasil Dari Analisa Kuantitatif dan Kualitatif</i> .....	112

## **BAB V PENUTUP**

5.1	<i>Kesimpulan</i> .....	115
-----	-------------------------	-----

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	PFD Gas Kriogenik.....	8
Gambar 2.2	Grafik Keandalan Sistem dengan Preventive Maintenance untuk Increasing Failure Rate.....	19
Gambar 3.1	Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	21
Gambar 3.2	PFD sistem Kriogenik.....	23
Gambar 3.3	Input Data TFF.....	29
Gambar 3.4	Pengujian Distribusi Data TTF .....	30
Gambar 3.5	Rangking Tiap Distribusi.....	30
Gambar 3.6	Penunjukan hasil distribusi .....	31
Gambar 4.1	PFD Sistem kriogenik komponen kriogenik komponen Exchanger 482-H-01 .....	30
Gambar 4.2	PFD Sistem Gas <i>Kriogenik</i> komponen compressor 482-C-01 .....	36
Gambar 4.3	P&ID dari shutdown valve pada sistem kriogenik .....	42
Gambar 4.4	P&ID dari blowdown valve pada sistem kriogenik .....	48
Gambar 4.5	P&ID dari komponen exchanger 482-H-02 pada sistem gas kriogenik .....	53
Gambar 4.6	P&ID dari komponen recompresor 482-C-02 pada sistem kriogenik.....	58
Gambar 4.7	P&ID dari komponen pompa 482-P-01 A/b pada sistem gas kriogenik .....	63
Gambar 4.8	Grafik keandalan (realibility), availability, maintainbility pada komponen exchanger 482-H-01 .....	76

Gambar 4.9	Grafik keandalan (realibility), availability, maintainbility pada komponen exchanger 482-H-01 .....	77
Gambar 4.10	Grafik keandalan (realibility), availability, maintainbility pada komponen compressor 482-C-02 .....	80
Gambar 4.11	Grafik keandalan (realibility), availability, maintainbility pada komponen compressor 482-C-02 .....	81
Gambar 4.12	Grafik keandalan (realibility), availability, maintainbility pada komponen shutdown valve .....	83
Gambar 4.13	Grafik keandalan (realibility), availability, maintainbility pada komponen shutdown valve .....	85
Gambar 4.14	Grafik keandalan (realibility), availability, maintainbility pada komponen blowdown valve .....	86
Gambar 4.15	Grafik keandalan (realibility), availability, maintainbility pada komponen blowdown valve .....	87
Gambar 4.16	Grafik keandalan (realibility), availability, maintainbility pada komponen exchanger 482-H-02 .....	89
Gambar 4.17	Grafik keandalan (realibility), availability, maintainbility pada komponen exchanger 482-H-01 .....	90
Gambar 4.18	Grafik keandalan (realibility), availability, maintainbility pada komponen shutdown valve .....	92

Gambar 4.19	Grafik keandalan (realibility), availibility, maintainbility pada komponen shutdown valve .....	93
Gambar 4.20	Grafik keandalan (realibility), availibility, maintainbility pada komponen pompa 482-P-01 A/B .....	96
Gambar 4.21	Grafik Performansi Keandalan Ketika Tindakan Preventive Maintenance Diberikan pada komponen pompa 482-P-01 A/B .....	97



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Deskripsi system function dan function failure dari exhaust system 5 Mw turbine (Moubray 2000).....	23
Tabel 2.2	Keterangan gambar pola alir inclined blade turbin 3 cm dan 4 cm pada 100 rpm Deskripsi Failure mode dan Failure effect (Moubray 2000).....	24
Tabel 4.1	Mode dan Penyebab kegagalan komponen Exchanger 482-H-01 .....	45
Tabel 4.2	Konsekuensi kegagalan dan Tindakan pencegahannya pada komponen exchanger 482-H-01 .....	53
Tabel 4.3	Mode dan Penyebab kegagalan komponen Compressor 482-C-01 .....	51
Tabel 4.4	Konsekuensi kegagalan dan Tindakan pencegahannya pada komponen exchanger 482-C-01 .....	54
Tabel 4.5	Mode dan Penyebab kegagalan komponen Shutdown Valve pada sistem Gas kriogenik.....	53
Tabel 4.6	Konsekuensi kegagalan dan Tindakan pencegahannya pada Shutdown Valve .....	54
Tabel 4.7	Mode dan Penyebab kegagalan komponen Blowdown Valve.....	53
Tabel 4.8	Konsekuensi kegagalan dan Tindakan pencegahannya pada Blowdown Valve.....	54
Tabel 4.9	Mode dan Penyebab kegagalan komponen exchanger 482-H-02.....	53
Tabel 4.10	Konsekuensi kegagalan dan Tindakan pencegahannya pada exchanger 482-H-02.....	54

Tabel 4.11 Mode dan Penyebab kegagalan komponen Recompressor 482-C-02.....	53
Tabel 4.12 Konsekuensi kegagalan dan Tindakan pencegahannya pada exchanger 482-C-02 .....	54
Tabel 4.13 Mode dan Penyebab kegagalan komponen pompa 482-P-01 A/B .....	53
Tabel 4.14 Konsekuensi kegagalan dan Tindakan pencegahannya pada pompa 482-P-01 A/B .....	67
Tabel 4.15 Mode dan Penyebab kegagalan temperature transmitter .....	68
Tabel 4.16 Konsekuensi kegagalan dan Tindakan pencegahannya pada Temperature transmitter .....	69
Tabel 4.17 Mode dan Penyebab kegagalan Pressure transmitter .....	70
Tabel 4.18 Konsekuensi kegagalan dan Tindakan pencegahannya pada Pressure transmitter .....	69
Tabel 4.19 Mode dan Penyebab kegagalan Level transmitter.....	70
Tabel 4.20 Konsekuensi kegagalan dan Tindakan pencegahannya pada level transmitter.....	73
Tabel 4.21 Mode dan Penyebab kegagalan Level transmitter data kerusakan komponen exchanger 482-H-01 .....	74
Tabel 4.22 Data distribusi waktu kegagalan komponen exchanger 482-H-01 .....	75
Tabel 4.23 Data kerusakan komponen compressor 482-C-01 .....	78
Tabel 4.24 Data pengujian distribusi waktu kegagalan compressor 482-C-01 .....	79
Tabel 4.25 Data pengujian distribusi waktu kegagalan Shutdown valve .....	82
Tabel 4.26 Data kerusakan komponen exchanger 482-H-02 .....	88

Tabel 4.27	Data pengujian distribusi waktu kegagalan exchanger 482-H-02 .....	88
Tabel 4.28	Data kerusakan komponen Recompressor 482-C- 02.....	91
Tabel 4.29	Data pengujian distribusi waktu kegagalan recompressor 482-C-02 .....	91
Tabel 4.30	Data kerusakan komponen Recompressor 482-C- 02.....	94
Tabel 4.31	Data pengujian distribusi waktu kegagalan pompa 482-P-01A/B .....	96

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Dalam kegiatan eksplorasi dan produksi gas alam (natural gas), Proses kriogenik merupakan salah satu proses penting dalam pengolahan gas alam (natural gas). Proses Kriogenik merupakan cabang fisika yang berkaitan dengan produksi yang menggunakan temperature yang sangat rendah atau dapat disebut juga sebagai ilmu pengetahuan dan teknologi yang mempelajari tentang suhu dibawah  $-0^{\circ}\text{C}$  [1]. Proses kriogenik ini sangat penting karena dalam pengolahan gas alam proses kriogenik digunakan untuk pemurnian zat Ethane. Dalam proses kriogenik ini memiliki banyak peralatan utama antara lain Heat Exchanger, Kompresor, Expander dan Deethanizer. Komponen-komponen tersebut akan mengolah gas alam sampai berubah menjadi zat Ethane cair sebagai masukan dari proses Depropane dan diolah kembali sampai menjadi produk *Liquefied Petroleum Gas* (LPG).

Proses Kriogenik yang dilakukan pada suhu yang sangat rendah akan sangat mempengaruhi probabilitas dari suatu sistem untuk dapat melaksanakan operasi atau fungsinya dengan baik selama selang waktu tertentu. Dimana Probabilitas pada keandalan berkaitan dengan suatu laju kegagalan dari sistem atau komponen berdasarkan fungsi waktu [2]. Oleh sebab itu digunakan metode Reliability Centered Maintenance (RCM) sebagai suatu proses yang digunakan untuk menentukan apa yang seharusnya dilakukan untuk menjamin suatu sistem dapat berjalan dengan baik sesuai dengan fungsi yang diinginkan. Hasil yang diharapkan dalam pengimplementasian RCM kedalam manajemen perawatan adalah untuk mendapatkan suatu strategi perawatan yang optimum[3].

## 1.2 Permasalahan

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, permasalahan yang bisa diangkat dalam tugas akhir ini adalah;

- a. Bagaimana menentukan komponen penyusun yang sering mengalami kegagalan dan perbaikan pada sistem gas kriogenik.
- b. Bagaimana menganalisa kehandalan komponen berdasarkan data perawatan (maintenance record) pada sistem gas kriogenik
- c. Bagaimana menentukan pencegahan terhadap unit pada sistem gas kriogenik agar tidak terjadi kegagalan.

## 1.3 Batasan Masalah

Pada Tugas akhir ini perlu diberikan batasan permasalahan dengan tujuan agar pembahasan tidak meluas dan menyimpang dari tujuan tugas akhir. Adapun batasan masalah pada sistem yang dirancang ini adalah :

- Penelitian dilakukan hanya pada bagian unit kritis pada sistem gas kriogenik
- Analisa kuantitatif menggunakan data perawatan tiap unit dengan *range* waktu data *maintenance (failure – repair)* untuk masing – masing unit pada tahun 2008-2015.
- Analisa kualitatif dilakukan melalui teknik observasi, diskusi dan wawancara tanpa kuisioner dengan narasumber ahli untuk merancang hasil data dengan metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)*.

## 1.4 Tujuan

Pada tugas akhir ini tujuan yang ingin dicapai adalah:

- a. Mengetahui komponen-komponen kritis pada sistem gas kriogenik
- b. Mengetahui kehandalan komponen berdasarkan data perawatan (maintenance record) pada sistem gas kriogenik.

- c. Mengetahui usaha pencegahan yang dilakukan terhadap unit pada sistem gas kriogenik agar tidak terjadi kegagalan

### 1.5 Metodologi Penelitian

Adapun penelitian tentang Implementasi *Reliability Centered Maintenance* (RCM) pada proses Gas Kriogenik dilakukan sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data  
Data yang digunakan adalah diagram P&ID dan data *maintenance* tahun 2008-2015 per komponen yang ada pada sistem Gas Kriogenik.
2. Identifikasi Sistem Unit Komponen  
Mengidentifikasi setiap komponen pada system gas kriogenik berdasarkan data *maintenance* yang sudah didapatkan,
3. Pengolahan Data  
Pengolahan data dilakukan dengan 2 metode yaitu metode kualitatif dan metode kuantitatif dimana metode kualitatif yaitu mendiskripsikan sistem, mengidentifikasi sistem, penentuan FMEA, *logic tree analysis* serta *task selection road map*. Sedangkan untuk metode kuantitatif yaitu menghitung nilai laju kegagalan, nilai distribusi laju kegagalan dan nilai *reliability*.
4. Menyusun RCM dalam Software Reliasoft Weibull ++
5. Menyusun data hasil dari pengolahan data RCM dengan Software RCM Dekstop

### 1.6 Sistematika Laporan

Sistematika laporan yang digunakan dalam penyusunan laporan ini agar memudahkan pembacaan dan pemahaman terhadap laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

#### a. BAB I Pendahuluan

Bab I ini terdiri dari latar belakang, permasalahan, batasan

masalah, tujuan, metodologi penelitian, dan sistematika laporan.

**b. BAB II Teori Penunjang**

Bab II merupakan teori teori dari penelitian yang dilakukan mengenai sytem gas kriogenik, RCM(*reliability Centered Maintenance*), keandalan dan seterusnya

**c. BAB III Metodologi Penelitian**

Bab III merupakan metode atau langkah langkah yang dilakukan pada saat penelitian.

**d. BAB IV Analisa Data dan Pembahasan**

Bab IV merupakan hasil pengolahan data dengan melakukan secara analisa kualitatif dengan metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) dan analisa kuantitatif dengan metode penghitungan Reliabilily, Maintainbility, Availibility dan preventive maintenance.

**BAB V Kesimpulan dan Saran**

Bab V merupakan kesimpulan dari percobaaan yang telah dilakukan sehingga dari kesimpulan tersebut dapat digunakan sebagai saran sarana penunjang tugas akhir selanjutnya.

## **BAB II**

### **TEORI PENUNJANG**

#### **2.1 Sistem Kriogenik**

Sistem ini merupakan sistem pendinginan kriogenik, artinya pendinginan yang menggunakan bantuan *chiller* agar suhu *output* turun hingga suhu minus dibawah nol derajat. Suhu minus ini dibutuhkan agar merubah fase gas menjadi *liquid* yang selanjutnya akan dapat dipisahkan melalui kolom fraksionasi. Kondisi operasi suhu dibawah nol derajat inilah yang mengakibatkan kandungan air dan hidrokarbon *liquid* harus benar-benar minimal karena campuran tersebut dapat membentuk hidrat pada suhu ini. *Cryogenic system* ditunjang oleh beberapa unit alat operasi, diantaranya:

##### **2.1.1 Inlet Gas Exchanger**

Unit ini berfungsi sebagai tempat terjadinya penukaran panas dengan *three pass system*. Gas yang masuk dikontakkan dengan gas dingin dari *De-Ethanizer Reflux Exchanger* dan *heating and vapourizing liquid* yang berasal dari *Cold Separator*. Suhu *inlet gas* akan turun dari suhu 40°C menjadi -35°C. Suhu gas dingin akan naik dari -55°C ke 41°C dan suhu *heating and vapourizing liquid* naik dari -51°C ke 42°C. Campuran *vapour liquid* dari *process gas* ini kemudian diumpankan menuju *Cold Separator*.

##### **2.1.2 Cold Separator**

Unit ini memiliki fungsi untuk memisahkan kondensat *liquid* dari *inlet gas* yang keluar dari *Inlet Gas Exchanger* 482-H-01. Gas masuk memiliki komposisi  $C_1$  dan  $C_2$  yang cukup banyak sehingga masih berupa gas meskipun suhunya telah diturunkan sedangkan *liquid* yang terbentuk memiliki komposisi  $C_{3+}$  (komponen  $C_3$  ke atas) yang lebih banyak. *Inlet gas* yang sudah terpisah dari *liquid* selanjutnya dikirimkan ke *Turbo Expander/Recompressor* sedangkan



*liquid*-nya dialirkan kembali ke *Inlet Gas Exchanger* dan dikirim menuju tray 40 *De-Ethanizer Column*.

### **2.1.3 Turbo Expander/Recompressor**

Unit *Turbo Expander* berfungsi untuk mengekspansi tekanan dari umpan keluaran *process gas* yang berasal dari *Cold Separator*. Proses ekspansi ini bertujuan untuk menurunkan tekanan dari *process gas* dari tekanan sekitar 62 barg menjadi 22 barg. Penurunan tekanan di unit ini akan menurunkan pula suhu dari *process gas* yang diharapkan turun hingga  $-70^{\circ}\text{C}$ . Penurunan suhu ini akan mengakibatkan *process gas* berubah menjadi dua fase yang terpisah, yaitu gas yang memiliki banyak komposisi fraksi ringan ( $\text{C}_1$  dan  $\text{C}_2$ ) dan *liquid* yang memiliki komposisi fraksi berat ( $\text{C}_{3+}$ ). Selanjutnya, campuran *liquid vapour* ini akan dikirim menuju *De-Ethanizer Column*.

*Recompressor* merupakan unit yang mengambil energi dari *expander* untuk memampatkan gas residu yang masuk dari *Inlet Gas Exchanger* untuk diumpankan menuju ke *Recompressor Cooler*.

### **2.1.4 De-Ethanizer Column**

Unit ini merupakan kolom distilasi yang memiliki 46 *fractionation tray* dan empat buah *chimney tray*. Fungsi dari unit ini adalah untuk memisahkan komponen-komponen  $\text{C}_1$  dan  $\text{C}_2$  yang memiliki volatilitas lebih rendah dengan  $\text{C}_{3+}$  yang memiliki volatilitas lebih tinggi. *Inlet* yang masuk ke unit *De-Ethanizer Column* ini cukup banyak, diantaranya campuran gas *liquid* dari *Turbo Expander/Recompressor* 482-CY-01, gas dari *Inlet Gas Exchanger*, gas refluks dari *De-Ethanizer Reflux Exchanger*, dan campuran gas *liquid* dari *De-Ethanizer Reflux Accumulator*. Sementara itu, material keluaran dari unit ini antara lain, *liquid*  $\text{C}_{3+}$  yang keluar menuju *De-Propanizer Column*, dan tiga jalur keluar untuk gas yang keluar menuju *De-Ethanizer Reflux Exchanger*, satu

melalui bagian atas kolom dan dua melalui bagian tengah kolom.

Unit ini ditunjang oleh sistem refluks dan pemanasan oleh *De-Ethanizer Reboiler*. Sistem refluks dibutuhkan untuk mengoptimalkan proses distilasi sedangkan pemanasan juga dibutuhkan untuk menguapkan fraksi ringan dari *process gas*. Unit ini bekerja pada tekanan 20 barg, temperatur atas  $-82^{\circ}\text{C}$  dan temperatur bawah  $80^{\circ}\text{C}$ .

Unit *De-Ethanizer Column* memisahkan *residue gas* yang akan dikirim ke PJB sebagai *sales gas*. *Residue gas* yang keluar dari *upstream* unit akan dialirkan menuju *De-Ethanizer Reflux Exchanger* agar suhunya naik dari  $-80^{\circ}\text{C}$  menjadi  $-50^{\circ}\text{C}$ . *Output* dari *Reflux Exchanger* akan digabungkan dengan *upstream gas* dari *De-Ethanizer Reflux Accumulator* dan dialirkan menuju *Inlet Gas Exchanger* sehingga suhunya meningkat menjadi  $42^{\circ}\text{C}$ . *Output* dari HE ini selanjutnya dikirim ke *Recompressor* 482-C-02 untuk dinaikkan tekanannya menjadi sekitar 22 ba rg. Keluaran dari rekompresor kemudian didinginkan di *Recompressor Cooler* ke suhu  $34^{\circ}\text{C}$  dan dialirkan menuju *Residue Gas Compressor*. *Output* dari unit tersebut memiliki tekanan 31 ba rg yang selanjutnya didinginkan di unit *Residue Discharge Cooler* sehingga suhunya menjadi  $39^{\circ}\text{C}$ . *Residue gas* keluaran unit tersebut kemudian akan dialirkan menuju *sales gas pipeline* untuk kemudian dijual.

### **2.1.5 De-Ethanizer Reboiler**

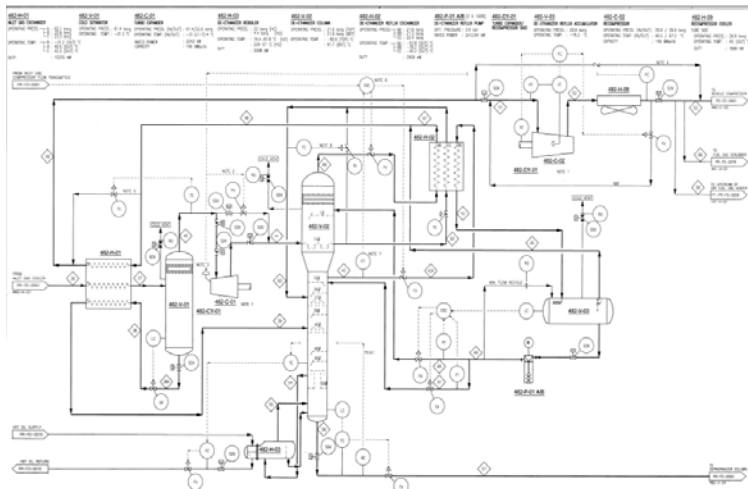
Unit ini berfungsi untuk menghilangkan kandungan fraksi ringan khususnya etana dari *process gas* yang akan dibuat menjadi LPG. Panas dari unit ini diatur secara otomatis oleh *Analyzer* sehingga ratio perbandingan antara etana dan propananya dapat dipertahankan secara maksimal.

### 2.1.6 De-Ethanizer Reflux Exchanger

Unit ini berfungsi menukar panas dan mengondensasi gas residu ( $C_1$  dan  $C_2$ ) yang keluar dari overhead *De-Ethanizer Column* yang bersuhu sekitar  $-80^\circ\text{C}$  dengan aliran gas dari tray 15 *De-Ethanizer Column*. Kerja refluks juga dikontrol dengan mengontrol jumlah umpan gas yang masuk ke *De-Ethanizer Reflux Exchanger*.

### 2.1.7 De-Ethanizer Reflux Accumulator

Unit ini berfungsi untuk memisahkan uap yang berupa *residue gas* dan *liquid*  $C_{3+}$  yang dialirkan dari tray 16 *De-Ethanizer Reflux Exchanger*. Unit ini akan mengakumulasi *liquid*  $C_{3+}$  sehingga dapat memenuhi kapasitas pompa *De-Ethanizer Reflux Pumps*. *Liquid* ini selanjutnya akan dialirkan kembali ke *De-Ethanizer Column* di tray 1.



**Gambar 2.1.** PFD Gas Kriogenik

## 2.2 Keandalan (Reliability)

Keandalan adalah probabilitas dari suatu item untuk dapat melaksanakan fungsi yang telah ditetapkan pada kondisi pengoprasian dan lingkungan tertentu untuk periode waktu yang ditentukan [6]. Keandalan atau *reliability* suatu item instrument didefinisikan sebagai probabilitas dari suatu sistem untuk dapat melaksanakan operasi atau fungsinya dengan baik selama selang waktu tertentu. Probablitas pada keandalan adalah kaitan suatu laju kegagalan dari sistem atau komponen berdasarkan fungsi waktu. Kegagalan / *failure* dapat didefinisikan sebagai ketidak mampuan suatu komponen untuk menjalankan fungsinya pada suatu sistem. Jadi,keandalan merupakan salah satu aspek yang dapat mempengaruhi keberhasilan proses produksi. Untuk menghitung nilai keandalan dapat digunakan rumus berikut [4] :

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_0^{\infty} f(t)dt \quad (2.1)$$

Dimana :

$F(t)$  adalah *Cumulative Distribution Function* (CDF)

$R(t)$  adalah *Reliability Function*

$f(t)$  adalah *Probability Density Function* (PDF)

Secara umum terdapat dua metode yang dikembangkan untuk melakukan evaluasi keandalan suatu sistem, yaitu:

### a. Metode Kuantitatif

Metode kuantitatif merupakan metode analisa berupa perhitungan secara matematik yang dilakukan melalui pendekatan / distribusi *numeric*. Metode ini dilakukan melalui perolehan data sekunder berupa data *maintenance (equipment record)* terhadap waktu kegagalan (*time to failure*) dimana *Time to Failure* didefinisikan sebagai waktu yang dilalui

komponen saat mulai beroperasi sampai mengalami kegagalan dan waktu perbaikan (*time to repair*) yaitu waktu perbaikan yang diperlukan oleh komponen agar dapat berfungsi kembali. TTF dan TTR komponen mengikuti beberapa distribusi kegagalan yang telah dikenal antara lain distribusi normal, lognormal, eksponensial, weibull [7].

b. Metode Kualitatif

Metode kualitatif merupakan metode analisa secara *quality* mealalui perspektif praktis dari suatu masalah. Untuk merancang metode kualitatif dengan menggunakan pola mendapatkan data dengan teknik kualitatif pula. Contohnya *mode* dan dampak kegagalan, seperti *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA), *Failure Mode, Effect and Criticality Analysis* (FMECA), *Fault Tree Analysis* (FTA) dan *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Analisa kualitatif ini digunakan untuk menganalisa sistem untuk dicari jenis kegiatan yang paling efektif ditinjau dari segi bentuk kegagalan [7].

## **2.3 Preventive Maintenance**

*Preventive maintenance* adalah pelaksanaan inspeksi dan kegiatan, dimana waktu pelaksanaannya telah direncanakan untuk mengembalikan fungsi operasi dari suatu peralatan atau sistem. Preventive dilakukan untuk menghindari suatu peralatan mengalami kerusakan.

Kegiatan – kegiatan yang dikategorikan kedalam *preventive maintenance* adalah sebagai berikut[5]:

### **2.3.1. Time Directed (TD)**

Yaitu kegiatan yang secara langsung bertujuan untuk mencegah / memperlambat terjadinya kerusakan. Hal ini dilakukan secara periodik sampai peralatan tersebut tidak dapat diperbaiki kembali seperti semula.

### **2.3.2. Condition Directed (CD)**

Yaitu kegiatan yang bertujuan untuk mendeteksi gejala – gejala awal terjadinya kerusakan. Kegiatan ini dilakukan dengan mendeteksi awal terjadinya kerusakan dan memperkirakan waktu yang memungkinkan suatu peralatan akan mengalami kegagalan operasi.

### **2.3.3. Failure Finding (FF)**

Yaitu kegiatan yang bertujuan untuk menemukan kerusakan yang tersembunyi dalam operasinya. Pada operasi yang normal dalam situasi dimana terjadinya kerusakan yang tidak diketahui, maka hal ini disebut dengan kerusakan yang tersembunyi (*hidden failure*).

### **2.3.4. Run To Failure (RTF)**

Yaitu keputusan yang sengaja dibuat dengan mengoperasikan suatu peralatan sampai terjadi kerusakan. Hal ini dilakukan karena ditinjau dari segi ekonomis tidak menguntungkan untuk melakukan perawatan.

## **2.4 Predictive Maintenance**

*Predictive maintenance* adalah suatu aktivitas pemeliharaan yang disesuaikan ke arah indikasi di mana suatu peralatan sedang berada pada kurva pengausan yang kritis, dan memprediksi masa penggunaannya. *Predictive maintenance* dimaksudkan agar pemeliharaan dapat dilakukan secara terukur baik berdasarkan kondisi instrumen maupun berdasarkan waktu pelaksanaan pemeliharaan, dengan tujuan mendapatkan pemeliharaan yang efektif dan ekonomis, serta mengoptimalkan kinerja dan umur mesin, dimana faktor keamanan (*safety*) selalu diutamakan.

## 2.5 Laju Kegagalan (*Failure Rate*)

Laju kegagalan ( $\lambda$ ) adalah nilai seberapa besar kegagalan yang terjadi persatuan waktu. Dimana laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu tertentu dengan total waktu operasi komponen atau system.

Menghitung besarnya nilai laju kegagalan dapat digunakan rumus seperti dibawah ini [4]:

$$\lambda(t) = \frac{f}{T} \quad (2.2)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.3)$$

$$\lambda(t) = \frac{1}{MTTF} \quad (2.4)$$

dimana :

$f$  adalah kegagalan selama jangka waktu operasi

$T$  adalah total waktu operasi.

MTTF adalah rata – rata kegagalan yang terjadi.

Distribusi laju kegagalan terbagi menjadi 4 jenis yang akan dijelaskan lebih lanjut sebagai berikut.

### 2.5.1. Distribusi Normal

Distribusi normal atau biasa disebut distribusi gaussian merupakan salah satu jenis distribusi yang paling sering digunakan untuk menjelaskan penyebaran data. *Probability Density Function* (PDF) dari distribusi normal adalah simetris terhadap nilai rata-rata (*mean*). Dispersi terhadap nilai rata-rata distribusi normal diukur berdasarkan nilai standar deviasi. Dengan kata lain parameter distribusi normal adalah *mean* dan standar deviasi. PDF dari distribusi normal dapat ditulis seperti Persamaan 2.5 berikut [2] :

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (2.5)$$

Jika distribusi waktu antar kegagalan suatu sistem mengikuti distribusi *normal*, maka [6]:

- a. Fungsi keandalan distribusi *normal* adalah:

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (2.6)$$

- b. Laju kegagalan distribusi *normal* adalah:

$$\lambda(t) = \frac{\exp[-(t-\mu)^2 / 2\sigma^2]}{\int_t^{\infty} \exp[-(t-\mu)^2 / 2\sigma^2] dt} \quad (2.7)$$

Waktu rata-rata kegagalan distribusi *normal* adalah:

$$\text{MTTF} = \mu \quad (2.8)$$

- c. *Maintainability* distribusi *normal* adalah :

$$M(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (2.9)$$

### 2.5.2 Distribusi Lognormal

Pada saat variabel acak T (waktu kegagalan) mempunyai distribusi lognormal, logaritma T memiliki distribusi normal. Fungsi kerapatan peluang untuk distribusi lognormal ditunjukkan pada Persamaan 2.10 berikut[2].

$$f(t) = \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (2.10)$$



Karakteristik distribusi lognormal memiliki dua parameter, yaitu parameter lokasi ( $\mu$ ) dan parameter skala ( $\sigma$ ), sama dengan standar deviasi. Jika distribusi waktu antar kegagalan mengikuti distribusi lognormal, maka [2] :

a. Fungsi keandalan distribusi lognormal adalah:

$$R(t) = 1 - \int_0^t \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{\ln t - \mu}{\sigma} \right)^2 \right] dt \quad (2.11)$$

b. Laju kegagalan distribusi lognormal adalah:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.12)$$

c. Waktu rata-rata kegagalan distribusi lognormal adalah:

$$\text{MTTF} = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \quad (2.13)$$

d. *Maintainability* distribusi lognormal adalah :

$$M(t) = \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{\ln(t-\mu)}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (2.14)$$

### 2.5.3 Distribusi Weibull

Pada analisis keandalan, distribusi *weibull* telah digunakan secara luas. Penambahan parameter di dalam distribusi *weibull* dapat mereperentasikan banyaknya *probability density functionm* (PDF), sehingga distribusi ini dapat digunakan untuk variasi data yang luas. Karakteristik distribusi *weibull* adalah memiliki beberapa parameter pada

distribusinya, yaitu dua parameter ( $\eta, \beta$ ) dan tiga parameter ( $\eta, \beta, \gamma$ ). Berikut ini adalah fungsi dari parameter distribusi *weibull* :

- $\eta$ , sebagai parameter skala (*scale parameter*),  $\eta > 0$ , disebut sebagai *characteristic life*.
- $\beta$ , sebagai parameter bentuk (*shape parameter*),  $\beta > 0$ , mendeskripsikan bentuk dari PDF.
- $\gamma$ , sebagai parameter lokasi (*locations parameter*), yaitu merepresentasikan *failure-free* atau awal periode dari penggunaan alat. Jika  $\gamma = 0$  maka distribusi akan berubah menjadi 2 parameter.

PDF distribusi *weibull* ditunjukkan pada Persamaan 2.15 berikut[2].

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} + \left[ \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \right] \exp \left[ - \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta} \right] \quad (2.15)$$

Jika distribusi waktu kegagalan suatu komponen, subsistem, ataupun sistem mengikuti distribusi *weibull*, maka [2] :

a. Fungsi keandalan distribusi *weibull* adalah:

$$R(t) = \exp \left\{ \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta} \right\} \quad (2.16)$$

b. Laju kegagalan distribusi *weibull* adalah:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[ \frac{t-\gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} \quad (2.17)$$

Saat nilai  $\beta$  kurang dari 1, penurunan fungsi laju kegagalan akan diperoleh. Saat nilai  $\beta$  lebih dari 1, peningkatan fungsi laju kegagalan akan diperoleh. Sedangkan apabila nilai  $\beta$  sama dengan 1 menunjukkan fungsi distribusi eksponensial.

c. Waktu rata-rata kegagalan distribusi *weibull* adalah:

$$\text{MTTF} = \gamma + \eta \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (2.18)$$

d. *Maintainability* distribusi *weibull* adalah :

$$M(t) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{t-\gamma}{\theta} \right)^\beta \right] \quad (2.19)$$

#### 2.5.4 Distribusi Eksponensial

PDF distribusi eksponensial ditunjukkan pada Persamaan 2.20 berikut [2] :

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda(t-\gamma)}, t > 0, \lambda > 0, t \geq \gamma \quad (2.20)$$

Jika distribusi waktu antar kegagalan suatu sistem mengikuti distribusi eksponensial, maka (Ebeling, 1997) :

a. Fungsi keandalan distribusi eksponensial adalah:

$$R(t) = e^{-\lambda(t\gamma)} \quad (2.21)$$

b. Laju kegagalan distribusi eksponensial adalah:

$$\lambda(t) = \lambda \quad (2.22)$$

c. Waktu rata-rata kegagalan distribusi eksponensial adalah:

$$MTTF = \gamma + \frac{1}{\lambda} \quad (2.23)$$

d. *Maintainability* distribusi eksponensial adalah:

$$M(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{MTTR}\right)} \quad (2.24)$$

## 2.6 maintainability

*Maintainability* adalah kemampuan suatu komponen yang rusak untuk dirawat/diperbaiki agar kembali seperti keadaan semula dan dalam periode tertentu sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan. *Maintainability* memiliki rumus matematis yang berbeda-beda, bergantung dari distribusi datanya[2].

## 2.7 availability

*Availability* adalah kemungkinan sebuah komponen untuk menjalankan fungsinya (dengan berbagai aspek keandalan, kemampurawatan, serta dukungan pemeliharaan). *Availability* juga dapat diartikan sebagai ketersediaan suatu komponen dalam jangka waktu tertentu. *Availability* yang berubah terhadap waktu dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [2].

$$A(t) = \left[ \left( \frac{\mu}{\lambda + \mu} \right) + \left( \left( \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \right) \exp(-(\lambda + \mu)t) \right) \right] \quad (2.25)$$

Dimana :

$\lambda = \text{failure rate}$  dari waktu antar kegagalan

$\mu = 1/\text{MTTR}$

## 2.8 Preventive maintenance

*Preventive maintenance* merupakan kegiatan pemeliharaan yang dilakukan sebelum komponen mengalami kerusakan. Kegiatan ini penting dilakukan untuk mencegah gangguan pada proses produksi akibat kerusakan komponen. Secara matematis, *preventive maintenance* dirumuskan sebagai berikut [2].

$$R_m(t) = R(T)^n R(t - nT) \quad (2.26)$$

Dimana :

$nT \leq t < (n+1) t$

$n = 0, 1, 2, \dots$

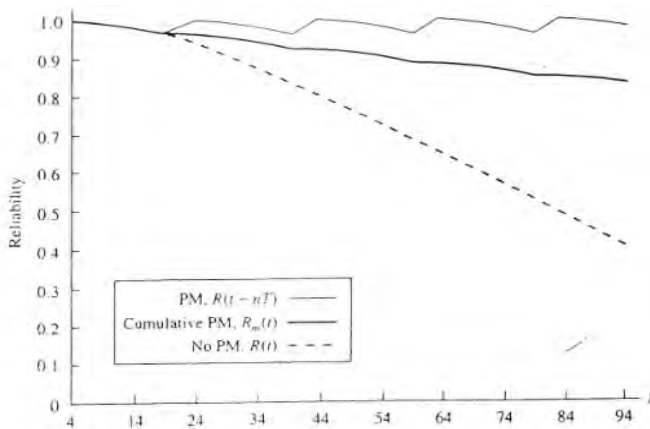
Dimana :

$R_m(t)$  = Fungsi keandalan setelah dilakukan *preventive maintenance*.

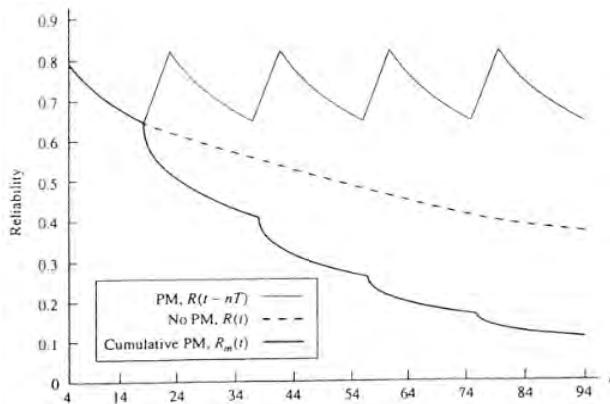
$R(T)^n$  = Probabilitas ketahanan sampai dengan *preventive maintenance* ke-n.

$R(t-nT)$  = Probabilitas ketahanan selama jangka waktu  $t-nT$  yang telah ditentukan sebelumnya pada kondisi awal.

Grafik keandalan untuk komponen/peralatan dengan *preventive maintenance* dapat dilihat pada Gambar 2.2 dan gambar 2.3 berikut.



**Gambar 2.2** Grafik Keandalan Sistem dengan *Preventive Maintenance* untuk *increasing failure rate*



**Gambar 2.3** Grafik Keandalan Sistem dengan *Preventive Maintenance* untuk *decreasing failure rate* [2]

## 2.9 FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*)

FMEA merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisa suatu kegagalan dan akibatnya untuk menghindari kegagalan tersebut. Dalam konteks kesehatan dan keselamatan kerja (K3), kegagalan yang dimaksudkan dalam definisi di atas merupakan suatu bahaya yang muncul dari suatu proses.

Kegagalan digolongkan berdasarkan dampak yang diberikan terhadap kesuksesan suatu misi dari sebuah sistem. Secara umum, FMEA (Failure Modes and Effect Analysis) didefinisikan sebagai sebuah teknik yang mengidentifikasi tiga hal, yaitu :

1. Penyebab kegagalan yang potensial dari sistem, desain produk, dan proses selama siklus hidupnya,
2. Efek dari kegagalan tersebut,
3. Tingkat kekritisan efek kegagalan terhadap fungsi sistem, desain produk, dan proses.

### 2.10 *Reliability Centered Maintenance (RCM)*

*Reliability Centered Maintenance (RCM)* didefinisikan sebagai suatu proses yang digunakan untuk menentukan apa yang seharusnya dilakukan untuk menjamin suatu sistem dapat berjalan dengan baik sesuai dengan fungsi yang diinginkan oleh pengguna [4]. Konsep dasar dari metode RCM ini adalah mempertahankan fungsi dari salah satu sistem, sehingga segala upaya perawatan yang dilakukan adalah untuk menjaga agar sistem tetap berfungsi sesuai dengan yang diharapkan. Manajemen perawatan ini tidak hanya memanfaatkan rekomendasi vendor saja tapi juga melibatkan analisa *reliability*. Hasil yang diharapkan dalam pengimplementasian RCM kedalam manajemen perawatan adalah untuk mendapatkan suatu strategi perawatan yang optimum [5]

Secara garis besar proses *Reliability Centered Maintenance (RCM)* adalah [6]:

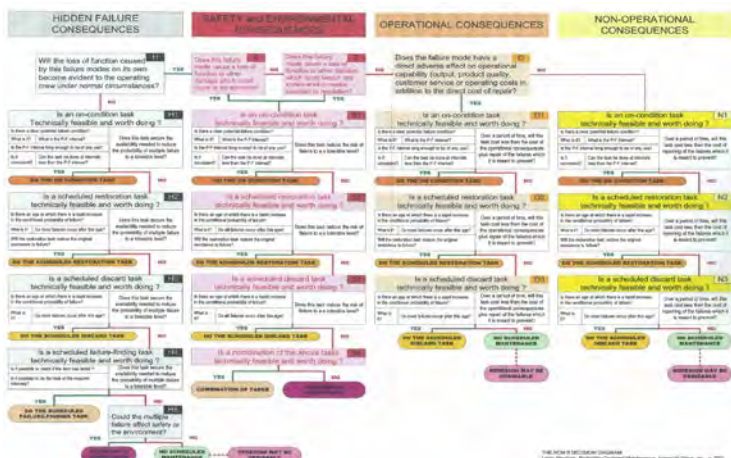
- a. Target dari pemeliharaan suatu system harus secara jelas teridentifikasi, dan data yang dibutuhkan harus dikumpulkan.
- b. Semua kemungkinan kegagalan dan efek yang ditimbulkan akibat kegagalan tersebut harus dianalisis secara sistematis.
- c. Mempertimbangkan pemeliharaan yang akan dilakukan apakah *preventive maintenance* atau *corrective maintenance*. Pemilihan ditentukan berdasarkan perhitungan *reliability*, biaya perawatan dan sebagainya.

Penelitian tentang RCM pada umumnya bertujuan menjawab beberapa pertanyaan mengenai asset atau peralatan yang diteliti Andrews JD sebagai berikut :

- a. Apakah fungsi dan kegunaan aset dalam unit operasi (*system functions*)?



- Bagaimana aset tersebut mengalami kegagalan dalam menjalankan fungsinya (*functional failure*)?
- Apa yang menyebabkan terjadinya kegagalan fungsi tersebut (*failure modes*)?
- Apakah yang terjadi pada saat terjadi kerusakan (*failure effect*)?
- Bagaimana masing-masing kerusakan tersebut terjadi (*failure consequence*)?
- Apakah yang dapat dilakukan dalam memprediksi atau mencegah kerusakan tersebut (*proactive task and task interval*) ?
- Apakah yang harus dilakukan apabila terjadi kegagalan (*default action*)?



### 2.11 System Function and Functional Failure

Masing-masing instrumen dalam suatu proses, memiliki fungsi tertentu yang dapat dikelompokkan dalam tiga kategori fungsi yakni pengendali proses (*control process*), perlindungan (*protection*) dan indikator (*indication*). *System function* dalam RCM memberikan informasi mengenai definisi fungsi bukan peralatan yang ada pada sistem tersebut, sedangkan *function failure* memberikan informasi bagaimana kegagalan yang terjadi terhadap sistem tersebut dalam menjalankan fungsinya[3]. Contoh deskripsi *system function* dan *function failure* dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut :

**Tabel** Error! No text of specified style in document..1  
Deskripsi *system function* dan *function failure* dari  
*exhaust system 5 MW turbine* [3]:

<b>System Function</b>		<b>Funnnction Failure</b>	
1.	<i>To channel all the hot turbine exhaust gas without restriction to a fixed point 10 meters above the roof of the turbine hall</i>	A	<i>Unable to channel gas at all</i>
		B	<i>Gas flow rstricted</i>
		C	<i>Fails to contain the gas</i>
		D	<i>Fails to convey gas to a point 10 m above the roof</i>
2.	<i>To reduce exhaust noise levels to ISO Noise Rating 30 at 150 meters</i>	A	<i>Noise level exceed ISO Noise Rating 30 at 150 meters</i>
3.	<i>To Ensure that duct surface temperature in side turbine hall does not rise above 60°C</i>	A	<i>Dutc surface temperature exceeds 60°C</i>

(Lanjutan tabel 2.1)

<b>System Function</b>		<b>Funnnction Failure</b>	
1.	<i>To transmit a warning signal to the control system if exhaust gas temperature exceeds 475°C and a shutdown signal if it exceeds 500°C at a ppint 4 meters from the turbine</i>	A	<i>Incapable or sending a warning signal if exhaust temperature exceeds 475°C</i>
		B	<i>Incapable of sending a shutdown signal if exhaust temperature exceeds 500°C</i>
2.	<i>To allow free movement of ducting in response to temperature changes</i>	A	<i>Does not allow free movement of ducting</i>

Dalam mendeskripsikan *system function and fungsional failure* dari suatu sistem dapat dibentuk seperti tabel RCM II seperti gambar 2.1 diatas.

### 2.12 Severity Class Type

Jenis kegagalan yang terjadi dapat dikategorikan kedalam beberapa kategori dibawah ini (SINTEF 2009):

- Critical failure*, ketika kegagalan ini terjadi maka dapat menyebabkan kerugian langsung dan menyeluruh terhadap kemampuan peralatan dalam menghasilkan keluaran.
- Degraded failure*, bukan merupakan kegagalan yang sifatnya kritis namun dapat menghambat kinerja peralatan dalam menghasilkan keluaran dalam beberapa kondisi. Namun tipe kegagalan ini dapat meningkat menjadi kritis dikemudian hari.
- Incipient failure*, ketika kegagalan ini terjadi tidak mempengaruhi kinerja peralatan secara langsung. Akan tetapi apabila tidak diperhatikan maka dapat meningkat menjadi *degraded failure* bahkan *critical failure* dikemudian hari.

- d. *Unknown*, kegagalan ini tidak memiliki tingkat keparahan atau tidak dapat terdeteksi.

### 2.13 *Failure Mode and Failure Effect*

*Failure mode* dan *Effects* erat kaitannya dengan definisi kegagalan yang terjadi pada instrumen tertentu dan efek yang ditimbulkan dari kegagalan yang terjadi.

**Tabel** Error! No text of specified style in document..2

Deskripsi *failure mode* dan *failure effect* [3]

<i>Failure Mode</i>		<i>Failure Effect</i>
1.	<i>Gearbox bearings seize</i>	<i>Motor trips and alarm sounds in control room, 3 hours downtime to replace gearbox with spare. New bearings fitted in workshop</i>
2.	<i>Gear teeth stripped</i>	<i>Motor does not trip but machine stops, 3 hours downtime to replace gearbox with spare. New gears fitted in workshop</i>
3.	<i>Gearbox seized due to lack of oil</i>	<i>Motor trips and alarm sounds in control room, 3 hours downtime to replace gearbox with spare, seized gearbox would be scrapped</i>

*Failure Mode* bertujuan untuk member informasi mengenai akar permasalahan dari kegagalan. *Failure Effect* memberikan informasi mengenai dampak yang diakibatkan apabila *failure mode* tersebut terjadi. Dalam mendeskripsikan *failure mode* dan *failure effect* dapat dilakukan sesuai dengan tabel RCM II seperti gambar 2.2 diatas. Beberapa *failure mode* yang umum terjadi di industri migas adalah sebagai berikut[10]:

- Abnormal instrument reading (AIR)* merupakan ketidak normalan pembacaan instrumen.
- External Leakage-Process Medium (ELP)* merupakan kebocoran external pada unit proses.
- Structural Deficiency (STD)* merupakan penyimpangan dari desain struktur unit.

- d. *Plugged/Chocked* (PLU), merupakan penyumbatan atau buntu.
- e. *Minor In-Service Problem* (SER), merupakan kegagalan yang tidak diketahui/tidak disengaja saat melakukan perbaikan/pemasangan.
- f. *Fail To Regulate* (FTR), merupakan kegagalan ketika membuka atau menutup sesuai dengan perintah yang dikirim *controller*.
- g. *Valve Leakage In Closed Position* (LCP), kegagalan yang terjadi pada *valve*, dimana *valve* mengalami gangguan saat menutup yang menyebabkan fluida tetap mengalir meski kondisi *valve* sudah menutup (biasa disebut *passing*).
- h. *Fail To Open On Demand* (FTO), umumnya kegagalan ini terjadi pada *valve*, dimana dimana *valve* tidak bisa membuka.
- i. *Fail To Close On Demand* (FTC), umumnya kegagalan ini terjadi pada *valve*, dimana dimana *valve* tidak bisa menutup.
- j. *Delayed Operation* (DOP), kegagalan dimana terjadi keterlambatan respon sistem terhadap perintah yang diberikan.
- k. *Insufficient Heat Transfer* (IHT), kegagalan yang disebabkan gagalnya unit dalam mendinginkan fluida yang dilewatkan.

#### **2.14 Konsekuensi Kegagalan (*Failure Consequence*)**

Setelah mendefinisikan kegagalan yang terjadi pada suatu instrumen langkah selanjutnya adalah menetapkan kategori konsekuensinya (*failure consequence*). Di dalam *Reliability Centered Maintenance*, konsekuensi kegagalan diklasifikasikan dalam empat yaitu [3]:

- a. *Hidden Failure Consequences*, dimana kegagalan tersebut tidak dapat dibuktikan secara langsung sesaat setelah kegagalan terjadi.
- b. *Safety and Environment Consequences*, *safety consequences* terjadi apabila sebuah kegagalan fungsi berpotensi mengancam keselamatan pekerja/manusia lain. *environment consequences* terjadi apabila fungsi kegagalan berdampak pada kelestarian lingkungan.
- c. *Operational Consequences*, suatu kegagalan dikatakan memiliki konsekuensi operasional jika akibat yang ditimbulkan ketika kegagalan tersebut terjadi adalah pada produksi atau operasional (keluaran, kualitas produk, pelayanan terhadap konsumen atau biaya operasional untuk perbaikan komponen)
- d. *Non Operational Consequences*, Bukti kegagalan pada kategori ini adalah yang bukan tergolong dalam konsekuensi keselamatan ataupun produksi, jadi kegagalan ini hanya melibatkan biaya perbaikan komponen

### **2.15 Proactive Task and Initial Interview**

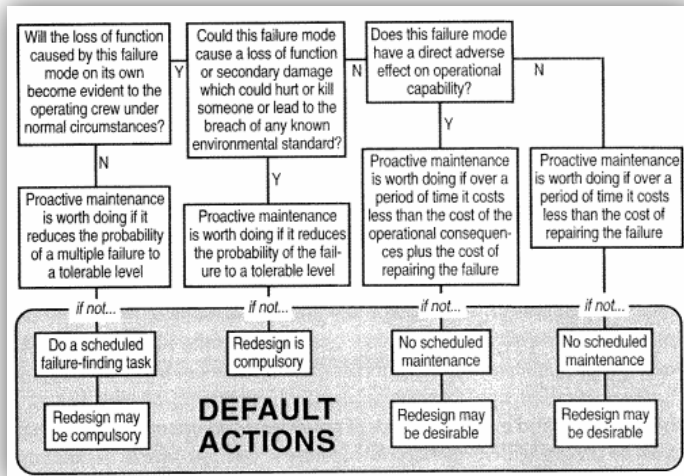
Tindakan ini dilakukan sebelum terjadinya kegagalan dengan tujuan menghindarkan asset dari kondisi yang dapat menyebabkan kegagalan [3]:. Kegiatan ini biasa dikenal dengan *predictive* dan *preventive maintenance*. Pada RCM, *predictive maintenance* dikategorikan kedalam aktifitas *scheduled on condition task*, sedangkan *preventive maintenance* dikategorikan ke dalam *scheduled restoration task* maupun *scheduled discard task*. Berikut merupakan uraian dari ketiga jenis kegiatan *proactive maintenance* [3]:.

- a. *Scheduled restoration task*, merupakan kegiatan pemeliharaan asset, dilakukan dengan cara memperbaiki komponen sesuai dengan jadwal tertentu sebelum

- mengalami kegagalan. Kegiatan ini mengharuskan mesin berhenti beroperasi.
- b. *Scheduled discard task*, merupakan kegiatan pergantian komponen dengan komponen yang baru pada interval waktu tertentu, tanpa melihat kondisi kompoen yang akan diganti.
  - c. *Scheduled on-condition task*, kegiatan ini dilakukan secara periodik dalam mengganti komponen yang sudah ada sehingga dapat kembali pada kondisi awal (lebih akurat, mengembalikan pada ketahanan terhadap kegagalan seperti kondisi awal)

### **2.16 Default Action**

*Default Action* merupakan suatu tindakan yang dilakukan apabila sudah berada dalam kondisi *failed scale*, atau ketika tindakan *proactive task* yang efektif tidak mungkin dilakukan. Gambar berikut menunjukan diagram *default action* :



**Gambar** Error! No text of specified style in document..5  
Diagram *default action* [3]:

Kegiatan *default action* yang dilakukan meliputi beberapa bagian yaitu:

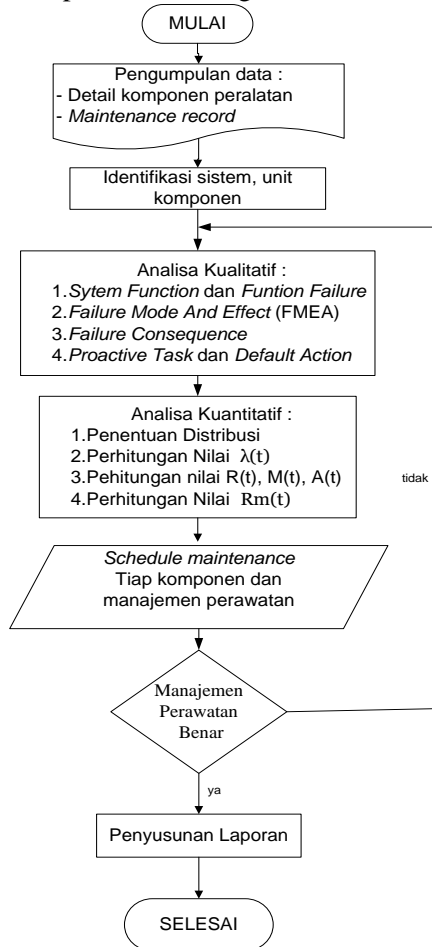
- Scheduled Failure Finding*, merupakan tindakan pengecekan secara periodik terhadap fungsi untuk mengetahui bagian yang mengalami kegagalan fungsi.
- Re-design*, merupakan kegiatan membuat perubahan terhadap perangkat keras dan prosedur guna mengembalikan peralatan ke kondisi semula.
- Run to failure*, tindakan yang dilakukan membiarkan alat beroperasi sampai terjadi kegagalan, hal tersebut dilakukan berdasarkan pertimbangan finansial karena tindakan pencegahan yang dilakukan dinilai tidak menguntungkan



Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

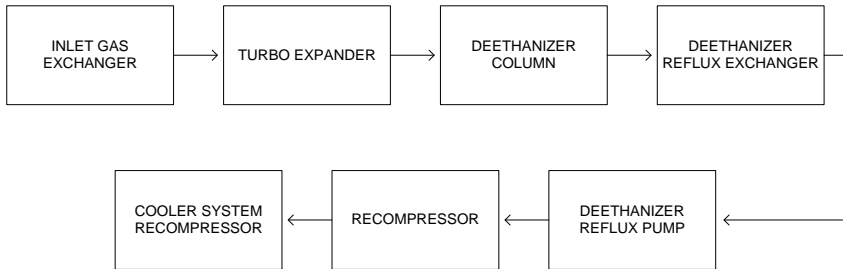
Penelitian tentang Implementasi *Reliability Centered Maintenance* (RCM) pada proses Gas Kriogenik dilakukan sesuai *flowchart* penelitian sebagai berikut:



**Gambar 3.1.** Diagram Alir Metodologi Penelitian

Kondisi operasi suhu dibawah nol derajat inilah yang mengakibatkan kandungan air dan hidrokarbon *liquid* harus benar-benar minimal karena campuran tersebut dapat

membentuk hidrat pada suhu ini. *Cryogenic system* ditunjang oleh beberapa unit alat operasi, diantaranya:



**Gambar 3.4** Block Diagram Proses Gas Kriogenik

### 3.2.1 INLET GAS EXCHANGER 482-H-01

Unit ini berfungsi sebagai tempat terjadinya penukaran panas dengan *three pass system*. Gas yang masuk dikontakkan dengan gas dingin dari *De-Ethanizer Reflux Exchanger* 482-H-02 dan *heating and vapourizing liquid* yang berasal dari *Cold Separator* 482-V-01. Suhu *inlet gas* akan turun dari suhu 40°C menjadi -35°C. Suhu gas dingin akan naik dari -55°C ke 41°C dan suhu *heating and vapourizing liquid* naik dari -51°C ke 42°C. Campuran *vapour liquid* dari *process gas* ini kemudian diumpankan menuju *Cold Separator* 482-V-01.

### 3.2.2 COLD SEPARATOR 482-V-01

Unit ini memiliki fungsi untuk memisahkan kondensat *liquid* dari *inlet gas* yang keluar dari *Inlet Gas Exchanger* 482-H-01. Gas masuk memiliki komposisi  $C_1$  dan  $C_2$  yang cukup banyak sehingga masih berupa gas meskipun suhunya telah diturunkan sedangkan *liquid* yang terbentuk memiliki komposisi  $C_{3+}$  (komponen  $C_3$  ke atas) yang lebih banyak. *Inlet gas* yang sudah terpisah dari *liquid* selanjutnya dikirimkan ke *Turbo Expander/Recompressor* 482-CY-01 sedangkan *liquid*-nya dialirkan kembali ke *Inlet Gas*

*Exchanger* 482-H-01 dan dikirim menuju tray 40 *De-Ethanizer Column* 482-V-02.

### 3.2.3 TURBO EXPANDER 482-C-01

Unit *Turbo Expander* 482-C-01 berfungsi untuk mengekspansi tekanan dari umpan keluaran *process gas* yang berasal dari *Cold Separator* 482-V-01. Proses ekspansi ini bertujuan untuk menurunkan tekanan dari *process gas* dari tekanan sekitar 62 barg menjadi 22 barg. Penurunan tekanan di unit ini akan menurunkan pula suhu dari *process gas* yang diharapkan turun hingga  $-70^{\circ}\text{C}$ . Penurunan suhu ini akan mengakibatkan *process gas* berubah menjadi dua fase yang terpisah, yaitu gas yang memiliki banyak komposisi fraksi ringan ( $\text{C}_1$  dan  $\text{C}_2$ ) dan *liquid* yang memiliki komposisi fraksi berat ( $\text{C}_{3+}$ ). Selanjutnya, campuran *liquid vapour* ini akan dikirim menuju *De-Ethanizer Column* 482-V-02.

### 3.2.4 DE-ETHANIZER COLUMN 482-V-02

Unit ini merupakan kolom distilasi yang memiliki 46 *fractionation tray* dan empat buah *chimney tray*. Fungsi dari unit ini adalah untuk memisahkan komponen-komponen  $\text{C}_1$  dan  $\text{C}_2$  yang memiliki volatilitas lebih rendah dengan  $\text{C}_{3+}$  yang memiliki volatilitas lebih tinggi. *Inlet* yang masuk ke unit *De-Ethanizer Column* 482-V-02 ini cukup banyak, diantaranya campuran gas *liquid* dari *Turbo Expander/Recompressor* 482-CY-01, gas dari *Inlet Gas Exchanger* 482-H-01, gas refluks dari *De-Ethanizer Reflux Exchanger* 482-H-02, dan campuran gas *liquid* dari *De-Ethanizer Reflux Accumulator* 482-V-03. Sementara itu, material keluaran dari unit ini antara lain, *liquid*  $\text{C}_{3+}$  yang keluar menuju *De-Propanizer Column* 482-V-04, dan tiga jalur keluar untuk gas yang keluar menuju *De-Ethanizer Reflux Exchanger* 482-H-02, satu melalui bagian atas kolom dan dua melalui bagian tengah kolom.

Unit ini ditunjang oleh sistem refluks dan pemanasan oleh *De-Ethanizer Reboiler* 482-H-03. Sistem refluks dibutuhkan untuk mengoptimalkan proses distilasi sedangkan pemanasan juga dibutuhkan untuk menguapkan fraksi ringan dari *process gas*. Unit ini bekerja pada tekanan 20 barg, temperatur atas  $-82^{\circ}\text{C}$  dan temperatur bawah  $80^{\circ}\text{C}$ .

Unit *De-Ethanizer Column* 482-V-02 memisahkan *residue gas* yang akan dikirim ke PJB sebagai *sales gas*. *Residue gas* yang keluar dari *upstream* unit akan dialirkan menuju *De-Ethanizer Reflux Exchanger* 482-H-02 agar suhunya naik dari  $-80^{\circ}\text{C}$  menjadi  $-50^{\circ}\text{C}$ . *Output* dari *Reflux Exchanger* akan digabungkan dengan *upstream gas* dari *De-Ethanizer Reflux Accumulator* 482-V-03 dan dialirkan menuju *Inlet Gas Exchanger* 482-H-01 sehingga suhunya meningkat menjadi  $42^{\circ}\text{C}$ . *Output* dari HE ini selanjutnya dikirim ke *Recompressor* 482-C-02 untuk dinaikkan tekanannya menjadi sekitar 22 barg. Keluaran dari rekompresor kemudian didinginkan di *Recompressor Cooler* 482-H-09 ke suhu  $34^{\circ}\text{C}$  dan dialirkan menuju *Residue Gas Compressor* 440-C-02. *Output* dari unit tersebut memiliki tekanan 31 barg yang selanjutnya didinginkan di unit *Residue Discharge Cooler* 440-H-02 sehingga suhunya menjadi  $39^{\circ}\text{C}$ . *Residue gas* keluaran unit tersebut kemudian akan dialirkan menuju *sales gas pipeline* untuk kemudian dijual.

### **3.2.5 DE-ETHANIZER REFLUX EXCHANGER 482-H-02**

Unit ini berfungsi menukar panas dan mengkondensasi gas residu ( $C_1$  dan  $C_2$ ) yang keluar dari overhead *De-Ethanizer Column* 482-V-02 yang bersuhu sekitar  $-80^{\circ}\text{C}$  dengan aliran gas dari tray 15 *De-Ethanizer Column* 482-V-02. Kerja refluks juga dikontrol dengan mengontrol jumlah umpan gas yang masuk ke *De-Ethanizer Reflux Exchanger* 482-H-02.

### 3.2.6 DE-ETHANIZER REFLUX PUMP 482-P-01

Unit ini berfungsi untuk mendistribusikan atau mengalirkan kembali liquid  $C_{3+}$  ke *De-Ethanizer Column* 482-V-02 di tray 1. dimana liquid  $C_{3+}$  berasal dari proses *De-Ethanizer Accumulator* 482-V-03.

### 3.2.7 RE-COMPRESSOR 482-C-02

*Recompressor* 482-C-02 merupakan unit yang mengambil energi dari *expander* untuk memampatkan gas residu yang masuk dari *Inlet Gas Exchanger* 482-H-01 untuk diumpukan menuju ke *Recompressor Cooler* 482-H-09.

### 3.2.8 COOLER SYSTEM : RECOMPRESSOR 482-H-09

*Recompressor Cooler* 482-H-09 merupakan unit yang berfungsi untuk menurunkan suhu panas gas residu yang berasal dari proses *Recompressor* 482-C-02 yang memanfaatkan energy dari *expander* dan kemudian dialirkan menuju *Residue Gas Compressor* 440-C-02.

## 3.3 Tahap Pengolahan dan Analisis Data

Pada tahap ini, data-data yang diperoleh akan diolah dengan menggunakan dua metode. Metode tersebut adalah metode analisa kualitatif dan metode analisa kuantitatif.

### 3.3.1 Analisa Kualitatif

Metode analisa kualitatif merupakan suatu metode yang akan dilakukan dengan mengevaluasi fungsi dari suatu komponen, FMEA, fungsi kegagalan, Konsekuensi dari suatu kegagalan dan tindakan yang apa yang sebaiknya dilakukan. Analisa kualitatif ini dilakukan mewawancarai dan melakukan konsultasi dengan responden dari pihak perusahaan Adapun penjelasan dari tiap tahapan adalah sebagai berikut :

**a. Fungsi Komponen**

Pada tahapan ini langkah yang dilakukan yaitu mendefinisikan fungsi dari setiap komponen dalam sistem Gas Kriogenik

**b. Fungsi Kegagalan**

Fungsi kegagalan mendefinisikan bagaimana setiap komponen mengalami kegagalan dalam melaksanakan fungsinya.

**c. FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*)**

Metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) digunakan untuk mengidentifikasi atau mencari tahu komponen mana yang mengalami kegagalan, selain itu metode ini juga digunakan untuk mengidentifikasi sebab-sebab terjadinya kegagalan dalam suatu komponen. Serta mengetahui dampak yang terjadi akibat kegagalan serta penanganan yang tepat.

**d. Konsekuensi Kegagalan**

Konsekuensi kegagalan merupakan klasifikasi dari empat bagian yaitu *Hidden Failure Consequences*, *Safety and Environment Consequences*, *Operational Consequences*, *Non Operational Consequences*.

**e. *Proactive Task* dan *Initial Interval***

Pada tahapan *Proactive task* dan *Initial Interval* merupakan tindakan yang dilakukan sebelum terjadi kegagalan pada komponen. Untuk mencegah kegagalan tersebut maka dilakukanlah *predictive* dan *preventive maintenance*.

**3.3.2 Analisa Kuantitatif**

Metode analisa kuantitatif merupakan suatu metode yang akan dilakukan dengan mengevaluasi nilai *reliability*,



*maintainability*, *availability* dan *preventive maintenance*. Berikut merupakan langkah-langkah yang dilakukan untuk mengolah data dengan metode kuantitatif.

**a. Nilai TTF (*Time To Failure*)**

Nilai TTF (*Time To Failure*) ini didapatkan dari data *maintenance* pada komponen – komponen penyusun sistem Gas Kriogenik selama 8 tahun dengan rentang waktu dari tahun 2008 hingga 2015.

**b. Nilai MTTF (*Mean Time To Failure*)**

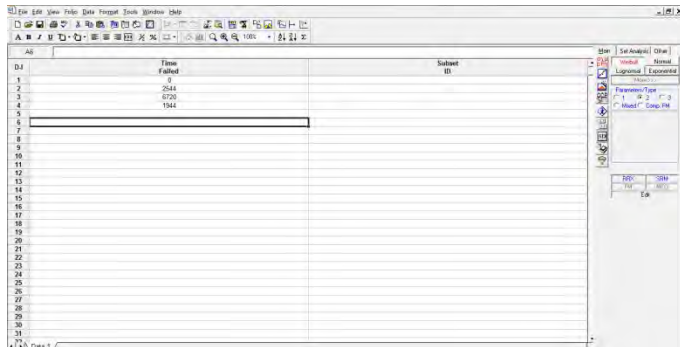
Nilai MTTF (*Time To Failure*) ini didapatkan dari penjumlahan nilai TTF dibagi dengan banyaknya *maintenance* yang dilakukan selama 8 tahun dalam rentan waktu dari tahun 2008 sampai dengan 2015.

**c. Menentukan Distribusi TTF (*Time To Failure*)**

Menentukan distribusi TTF (*Time To Failure*) berfungsi untuk mendapatkan harga kemungkinan terjadinya kerusakan pada waktu tertentu. Penentuan distribusi *time to failure* dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan *software ReliaSoft Weibull++*. Dengan menggunakan *software ReliaSoft* ini dapat diketahui jenis distribusi yang digunakan pada suatu komponen.

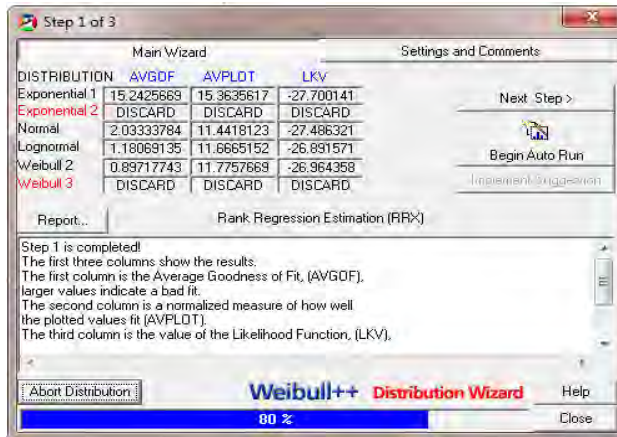
Berikut merupakan langkah-langkah yang dilakukan untuk menentukan distribusi waktu antar kegagalan:

- Data *maintenance* yang didapat dari lapangan dimasukkan dalam kolom pada gambar 3.4.



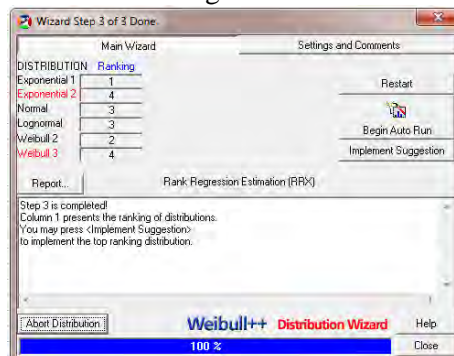
**Gambar 3.5** *Input Data TTF*

- Setelah memasukkan data tersebut dilakukan pengujian distribusi dengan memilih *option distribution wizard* setelah itu tekan tombol *next step* maka dapat diketahui parameter uji yaitu *average goodness of fit (AVGOF)*, *average of plot fit (AVPLOT)* dan *likelihood function (LKV)*. Pada kolom AVGOF menunjukkan hasil uji distribusi dimana semakin besar nilai yang didapat maka nilai tersebut mengindikasikan ketidaksesuaian hasil uji. AVPLOT merupakan nilai yang digunakan sebagai parameter untuk mengplot hasil uji distribusi. Sedangkan LKV menunjukkan bahwa nilai terkecil dalam kolom ini mengindikasikan nilai terbaik dalam distribusi



**Gambar 3.6** Pengujian Distribusi Data TTF

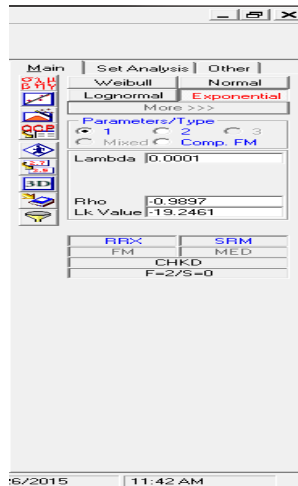
- Setelah mengetahui nilai dalam distribusi wizard maka ke tahap selanjutnya yaitu meranking hasil uji distribusi. Ranking hasil uji distribusi dengan nilai terbaik dapat dilihat pada option Begin Auto Run. Nilai terbaik ditunjukkan dengan nilai 1 dan untuk distribusi yang tidak sesuai untuk digunakan diindikasikan dengan nilai 5.



**Gambar 3.7** Ranking Tiap Distribusi

- langkah terakhir yaitu menentukan parameter dari data yang didapat hasil uji distribusi. Setiap distribusi memiliki

parameter-parameter yang berbeda. Dari parameter tersebut dapat digunakan untuk menentukan nilai laju kegagalan.



**Gambar 3.8** Penunjukan hasil distribusi

#### d. Evaluasi Kehandalan $R(t)$

Dalam mengevaluasi kehandalan pada tiap-tiap komponen dapat dilakukan dengan menentukan parameter distribusi terbaik menggunakan software Reliasoft Weibull++ kemudian hasil yang didapatkan dapat dibuat dalam bentuk grafik kehandalan komponen terhadap waktu operasional.

#### e. Penentuan TTR (*Time to Repair*)

Dalam menentukan TTR (*Time to Repair*) Data yang digunakan merupakan data maintenance dari komponen-komponen penyusun sistem gas kriogenik dimana data yang digunakan merupakan data perbaikan tiap komponen kritis yang mengalami kerusakan.

**f. Penentuan Distribusi TTR (*Time to Repair*)**

Dalam mengevaluasi kehandalanmenentukan distribusi TTR (*Time to Repair*) memiliki tahapan yang sama dengan mencari nilai TTF (*Time to Failure*) menggunakan *software ReliaSoft Weibull++* tetapi data yang dimasukkan menggunakan data TTR.

**g. Evaluasi *Maintainability***

Evaluasi *maintainability* didapatkan dari parameter-parameter hasil pengujian dengan menggunakan *software ReliaSoft Weibull++* kemudianbaru ditentukan persamaan yang akan digunakan.

**h. Evaluasi *Availability***

Evaluasi *Availibility* didapatkan dari parameter-parameter hasil pengujian dengan menggunakan *software ReliaSoft Weibull++* kemudianbaru ditentukan persamaan yang akan digunakan.

**i. Evaluasi *Preventive Maintenance Reliability* tiap komponen kritis penyusun sistem gas kriogenik**

Evaluasi *Preventive Maintenance Reliability* merupakan nilai yang didapatkan dari perbandingan antara nilai kehandalan komponen setelah dilakukan *maintenance* dengan nilai kehandalan komponen sebelum dilakukan *maintenance* dengan nilai kehandalan setelah dilakukan *preventive maintenance*. Kehandalan komponen tersebut memiliki standart sebesar 80% dari perusahaan pada setiap komponennya. Komponen yang nilai keandalannya kurang dari 0,8 maka harus dilakukan *preventive maintenance*

### **3.4 Managemen Perawatan**

Setelah dilakukan tahap pengolahan dan analisa data kuantitatif dan kualitatif, selanjutnya yaitu menyusun manajemen perawatan dengan acuan hasil dari analisa kuantitatif dan kualitatif yang didapat sebelumnya.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

## **BAB IV**

### **ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

Dalam bab ini akan dijelaskan tentang hasil pengolahan data dengan melakukan secara analisa kualitatif dengan metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) dan analisa kuantitatif sebagai penerapan metode RCM padaproses gas kriogenik.

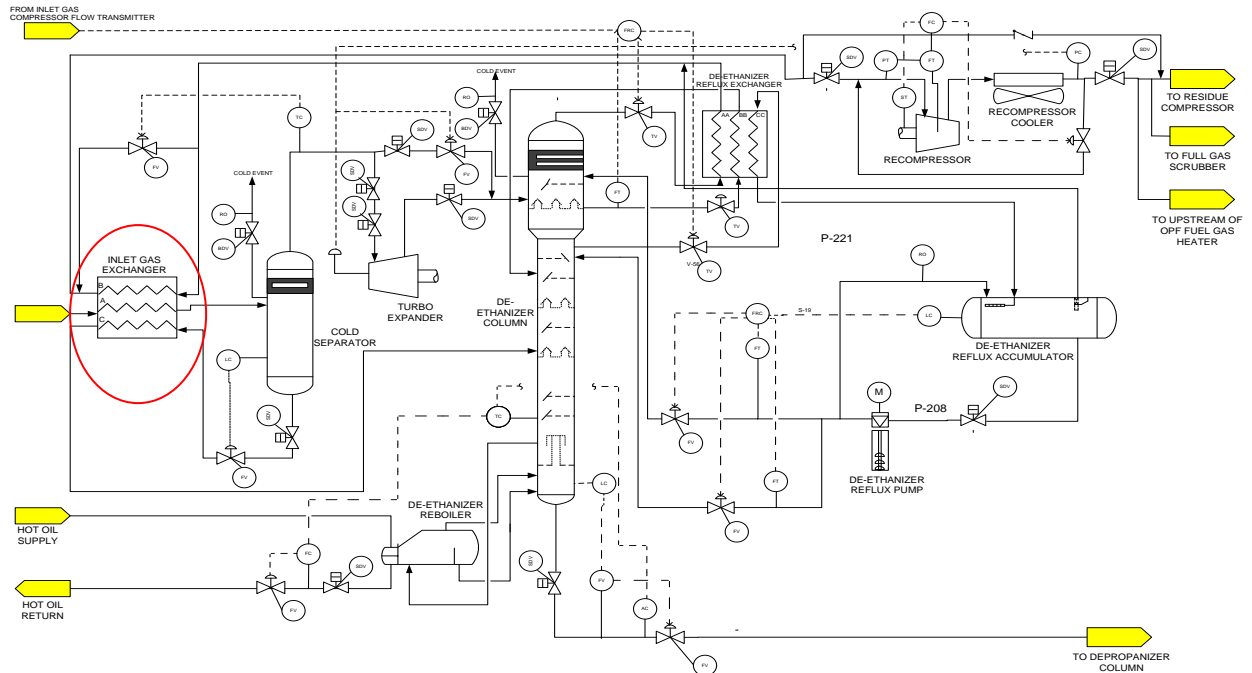
#### **4.1 Evaluasi Kualitatif pada Sistem Gas Kriogenik**

Pada tugas akhir ini, evaluasi kualitatif yang dilakukan yaitu menganalisa *function* dan *function failure*, FMEA, *failure consequences*, *proactive task or default action*. Evaluasi tersebut dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui tindakan apa yang harus dilakukan pada komponen penyusun sistem Gas Kriogenik.

##### **4.1.1 Exchanger 482-H-01**

Pada sistem Gas Kriogenik terdapat komponen gas exchanger 482-H-01 dimana komponen ini berfungsi sebagai tempat terjadinya penukaran panas dengan *three pass system*. Gas yang masuk dikontakkan dengan gas dingin dari *De-Ethanizer Reflux Exchanger* dan *heating and vapourizing liquid*. *Failure Mode and Effect Analysis*. Gambar 4.1 merupakan P&ID dari komponen *gas exchanger* pada proses gas kriogenik. *Function failure* pada komponen *gas exchanger* adalah tidak dapat bekerja secara fungsinya yaitu tidak dapat melakukan pertukaran panas dengan *three pass system*. Tabel penyebab kegagalan komponen exchanger 482-H-01 dapat dilihat pada tabel 4.1 :





**Gambar 4.1** PFD Sistem Gas Kriogenik Komponen *Exchanger* 482-H-01

**Tabel 4.1.** Mode dan Penyebab Kegagalan komponen *Exchanger 482-H-01*

<i>Failure modes</i>	<i>Maintainable Item</i>	<i>Failure causes</i>	<i>Failure Effect</i>
<i>Abnormal Instrument Reading (AIR)</i>	<i>Instrument (pressure), Internal power supply, Cabling and Junction Box</i>	<i>Electrical failure, Faulty signal/ indication/ alarm, No signal/ indication/ alarm</i>	<i>output of temperature isn't as expected, reduce performance</i>
<i>External leakage (ELP)</i>	<i>Instrument (pressure), Piping, Valves</i>	<i>Wear (Aus), aging, corossion, unsuitable material selection</i>	<i>Fire, environtmental pollution, fluid Losses</i>
<i>Chocked/Plugged (PLU)</i>	<i>Instrument (pressure) Piping Valves</i>	<i>Blockage/ plugged Sticking</i>	<i>Damage to equipment, risk of accident, pipeline explosion</i>
<i>Over heating (OHE)</i>	<i>Instrument (Temperature)</i>	<i>Faulty Signal/Indication/Alarm Instrument Failure No Signal/Indication/ alarm</i>	<i>high pressure and high temperature, damage to equipment</i>
<i>Structural Deficiencies (STD)</i>	<i>Body/shell Piping Valves</i>	<i>Corrosion, vibration, fatigue</i>	<i>Leakage due to corrosion in body, Performance degradation</i>

a. *Abnormal Instrument Reading (AIR)*

Mode kegagalan ini termasuk ke dalam *critical severity class* dimana *abnormal instrument reading* dikarenakan Kegagalan listrik, rusaknya sinyal / indikasi

/ alarm, sehingga apabila mode kegagalan ini terjadi, maka akan menimbulkan efek *over pressure* pada *pipe line* yang akan mengakibatkan *trip system/shutdown system*. Konsekuensi kegagalan mode ini termasuk ke dalam kategori sistem operasi. Jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya kegagalan ini adalah dengan *schedule on-condition task*, sedangkan aksi/tindakan pemeliharaan dapat dilakukan dengan *in-condition monitoring*, yaitu memantau fungsi dari setiap *maintainable item* yang termasuk ke dalam mode ini.

b. *External Leakage-Process Medium (ELP)*

Mode kegagalan ini termasuk ke dalam *critical severity class*. Dimana *external leakage* atau Kebocoran eksternal diakibatkan oleh pemilihan bahan yang tidak tepat, korosi, umur dari exchanger itu sendiri hal tersebut dapat mengakibatkan antara lain kehilangan/kerugian material, kebakaran, dan polusi lingkungan. Konsekuensi kegagalan mode ini termasuk ke dalam kategori *safety* dengan jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) berupa *schedule on-condition task*. Aksi/tindakan yang dapat dilakukan adalah dengan NDT.

c. *Plugged/Chocked (PLU)*

Mode kegagalan ini termasuk ke dalam *degraded severity class* dimana *Chocked/Plugged* merupakan kegagalan yang terjadi akibat penyumbatan pada pipa sehingga mengakibatkan Kerusakan peralatan, risiko kecelakaan, serta ledakan pada pipa. Konsekuensi kegagalan mode ini termasuk ke dalam kategori *safety*. Jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya kegagalan ini adalah dengan *scheduled restoration task*. Sedangkan

untuk aksi/tindakan pemeliharaan yang dilakukan di lapangan adalah dengan melakukan pengetesan kembali dan kalibrasi secara periodik, dimana uji fungsi dan kalibrasi dilakukan pada setiap *maintainable item* yang termasuk ke dalam mode ini.

d. *Over Heating* (OHE)

Mode kegagalan ini termasuk ke dalam *critical severity class* dimana *over heating* terjadi akibat kegagalan pada instrument, rusaknya signal/alarm dan indikasi sehingga membuat tekanan dan suhu menjadi meningkat hal tersebut membuat peralatan menjadi rusak. Apabila mode kegagalan ini terjadi, maka akan menimbulkan efek *over pressure* pada *pipe line* yang akan mengakibatkan *trip system/shutdown system*. Konsekuensi kegagalan mode ini termasuk ke dalam kategori sistem operasi. Jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya kegagalan ini adalah dengan *schedule on-condition task*, sedangkan aksi/tindakan pemeliharaan dapat dilakukan dengan *in-condition monitoring*, yaitu memantau fungsi dari setiap *maintainable item* yang termasuk ke dalam mode ini.

e. *Structural Deficiency* (STD)

Mode kegagalan ini termasuk ke dalam *critical severity class*. Dimana *Structural Deficiency* merupakan mode kegagalan yang terjadi akibat korosi, getaran ataupun kelelahan pada body atau kerangka pipa. Apabila mode kegagalan ini terjadi, maka dapat memperpendek masa pakai komponen dan menimbulkan kegagalan fungsi (*function failure*). Konsekuensi kegagalan mode ini termasuk ke dalam kategori operasional dengan jenis pemeliharaan (*proactive*

*maintenance*) berupa *schedule on-condition task*. Aksi/tindakan yang dapat dilakukan adalah dengan NDT.

Ketika terjadi kegagalan pada komponen gas exchanger maka kegagalan tersebut dapat menimbulkan akibat yang dapat mempengaruhi oprasional perusahaan. Maka dari itu diperlukan langkah-langkah untuk mengantisipasi dan menanggulangi kegagalan yang terjadi. *consequences evaluation* dan *action required* pada unit *inlet gas exchanger* dapat dilihat pada tabel 4.2:

**Tabel 4.2.** Konsekuensi Kegagalan dan Tindakan Pencegahannya pada komponen *Exchanger* 482-H-01

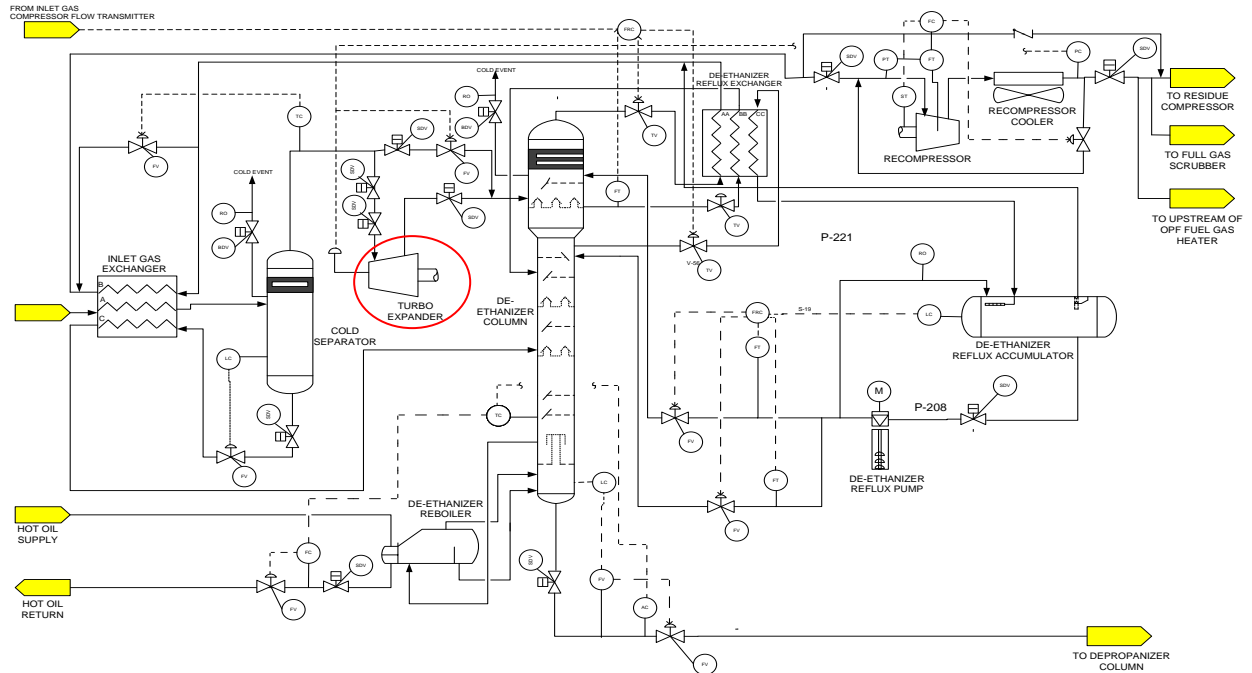
FM	Consequence Evaluation				proactive Task [ H S O N ]			Default Action			Action required
	H	S	E	O	[1]	[2]	[3]	H 4	H 5	S 4	
AIR	Y	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	N	Loop test, calibration
ELP	Y	Y	N	N	N	Y	N	Y	N	N	Regular Inspection
PLU	Y	Y	N	N	Y	N	N	Y	N	N	Monitoring Instrument Indicator, Checking & Cleaning pipeline & Instrument

( Lanjutan tabel 4.2)

FM	Consequence Evaluation				proactive Task [ H S O N ]			Default Action			Action required
	H	S	E	O	[1]	[2]	[3]	H 4	H 5	S 4	
OHE	Y	N	N	Y	Y	N	N	Y	N	N	Re-Check instrument indicator (temperature, Pressure) periodically
STD	Y	N	N	Y	N	Y	N	Y	N	N	Regular Inspection

#### 4.1.2 Compressor 482-C-01

Pada sistem Gas Kriogenik terdapat komponen *compressor* 482-C-01 pada Unit *Turbo Expander*. *Komponen ini* berfungsi untuk mengekspansi tekanan dari umpan keluaran *process gas* yang berasal dari *Cold Separator* 482-V-01. Proses ekspansi ini bertujuan untuk menurunkan tekanan dari *process gas* dari tekanan sekitar 62 barg menjadi 22 barg. Penurunan tekanan di unit ini akan menurunkan pula suhu dari *process gas* yang diharapkan turun hingga -70°C. Penurunan suhu ini akan mengakibatkan *process gas* berubah menjadi dua fase yang terpisah, yaitu gas yang memiliki banyak komposisi fraksi ringan ( $C_1$  dan  $C_2$ ) dan *liquid* yang memiliki komposisi fraksi berat ( $C_{3+}$ ). Selanjutnya, campuran *liquid vapour* ini akan dikirim menuju *De-Ethanizer Column* 482-V-02. *Failure Mode and Effect Analysis*. Gambar 4.2 merupakan P&ID dari komponen *compressor* pada proses gas kriogenik. *Function failure* pada komponen *compressor* adalah tidak dapat bekerja secara fungsinya yaitu tidak dapat menurunkan tekanan dari *process gas*. Tabel penyebab kegagalan komponen *compressor* 482-C-01 dapat dilihat pada tabel 4.3 :



**Gambar 4.2** PFD Sistem Gas Kriogenik Komponen *Compressor 482-C-01*

**Tabel 4.3.** Mode dan Penyebab Kegagalan komponen *Compressor 482-C-01*

<i>Failure modes</i>	<i>Maintain Item</i>	<i>Failure causes</i>	<i>Failure Effect</i>
Abnormal Instrument Reading (AIR)	Instrument (pressure), Internal power supply, Cabling and Junction Box	Electrical failure, Faulty signal/ indication/ alarm, No signal/ indication/ alarm	output of temperature isn't as expected, reduce performance
<i>Structural Deficiency (STD)</i>	<i>Body/shell Piping</i>	<i>Corrosion, vibration, fatigue</i>	<i>Leakage due to corrosion in body, performance degradation</i>
<i>External Leakage (ELP)</i>	<i>Instrument (pressure), Piping, Valves</i>	<i>Cavitation, Corossion, unsuitable material selection</i>	<i>Risk of accident, Fire, environmental pollution</i>
Chocked/Plugged (PLU)	Instrument (pressure) Piping Valves	Blockage/ plugged Sticking	Damage to equipment, risk of accident, pipeline explosion
Over heating (OHE)	Instrument (Temperature)	Faulty Signal/Indication/ Alarm Instrument Failure No Signal/Indication/ alarm	high pressure and high temperature, damage to equipment

a. *Abnormal Instrument Reading (AIR)*

Mode kegagalan ini termasuk ke dalam *critical severity class* dimana *abnormal instrument reading* dikarenakan Kegagalan listrik, rusaknya sinyal / in dikasi / a larm, sehingga apabila mode kegagalan ini terjadi, maka akan menimbulkan efek *over pressure* pada *pipe line* yang akan mengakibatkan *trip system/shutdown system*. Konsekuensi



kegagalan mode ini termasuk ke dalam kategori sistem operasi. Jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya kegagalan ini adalah dengan *schedule on-condition task*, sedangkan aksi/tindakan pemeliharaan dapat dilakukan dengan *in-condition monitoring*, yaitu memantau fungsi dari setiap *maintainable item* yang termasuk ke dalam mode ini.

b. *External Leakage-Process Medium* (ELP)

Mode kegagalan ini termasuk ke dalam *critical severity class*. Dimana *external leakage* atau Kebocoran eksternal diakibatkan oleh pemilihan bahan yang tidak tepat, korosi, umur dari exchanger itu sendiri hal tersebut dapat mengakibatkan antara lain kehilangan/kerugian material, kebakaran, dan polusi lingkungan. Konsekuensi kegagalan mode ini termasuk ke dalam kategori *safety* dengan jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) berupa *schedule on-condition task*. Aksi/tindakan yang dapat dilakukan adalah dengan NDT.

c. *Over Heating* (OHE)

Mode kegagalan ini termasuk ke dalam *critical severity class* dimana *over heating* terjadi akibat kegagalan pada instrument, rusaknya signal/alarm dan indikasi sehingga membuat tekanan dan suhu menjadi meningkat hal tersebut membuat peralatan menjadi rusak. Apabila mode kegagalan ini terjadi, maka akan menimbulkan efek *over pressure* pada *pipe line* yang akan mengakibatkan *trip system/shutdown system*. Konsekuensi kegagalan mode ini termasuk ke dalam kategori sistem operasi. Jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya kegagalan ini adalah dengan *schedule on-condition task*, sedangkan aksi/tindakan pemeliharaan dapat dilakukan dengan *in-condition monitoring*, yaitu memantau fungsi dari setiap *maintainable item* yang termasuk ke

dalam mode ini.

d. *Structural Deficiency* (STD)

Mode kegagalan ini termasuk ke dalam *critical severity class*. Dimana *Structural Deficiency* merupakan mode kegagalan yang terjadi akibat korosi, getaran ataupun kelelahan pada body atau kerangka pipa. Apabila mode kegagalan ini terjadi, maka dapat memperpendek masa pakai komponen dan menimbulkan kegagalan fungsi (*function failure*). Konsekuensi kegagalan mode ini termasuk ke dalam kategori operasional dengan jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) berupa *schedule on-condition task*. Aksi/tindakan yang dapat dilakukan adalah dengan NDT.

e. *Plugged/Chocked* (PLU)

Mode kegagalan ini termasuk ke dalam *degraded severity class* dimana *Chocked/Plugged* merupakan kegagalan yang terjadi akibat penyumbatan pada pipa sehingga mengakibatkan Kerusakan peralatan, risiko kecelakaan, serta ledakan pada pipa. Konsekuensi kegagalan mode ini termasuk ke dalam kategori *safety*. Jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya kegagalan ini adalah dengan *scheduled restoration task*. Sedangkan untuk aksi/tindakan pemeliharaan yang dilakukan di lapangan adalah dengan melakukan pengetesan kembali dan kalibrasi secara periodik, dimana uji fungsi dan kalibrasi dilakukan pada setiap *maintainable item* yang termasuk ke dalam mode ini.

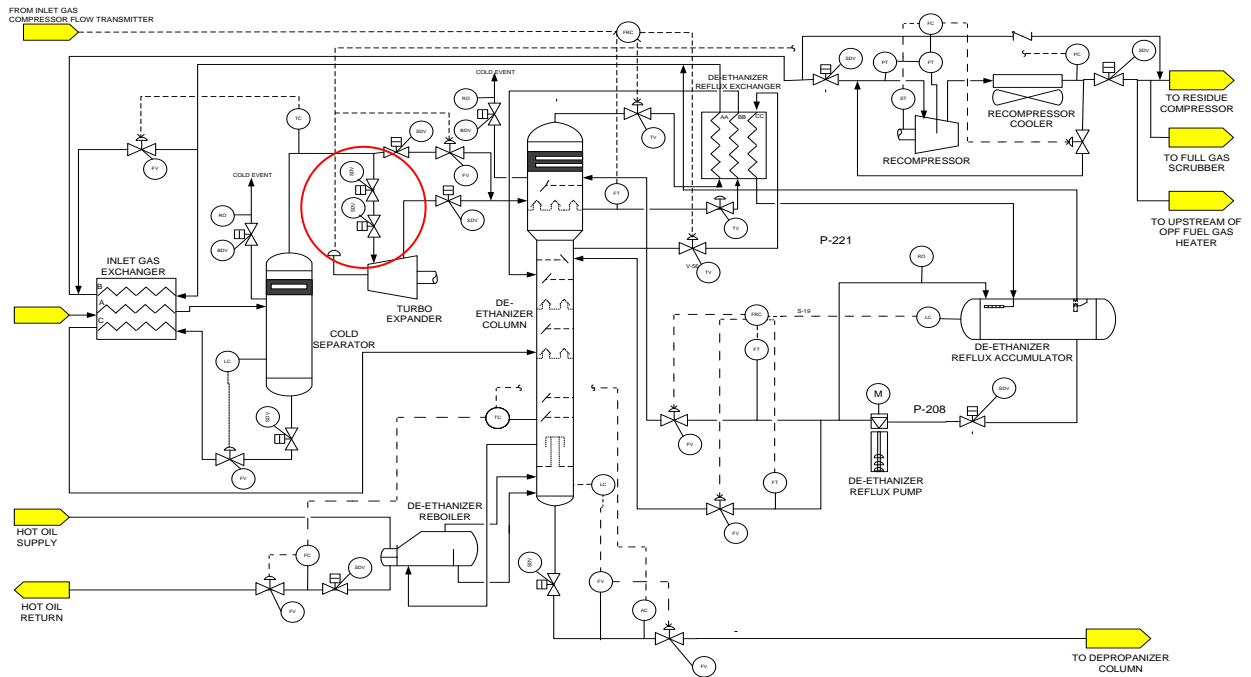
Ketika terjadi kegagalan pada komponen *compressor* maka kegagalan tersebut dapat menimbulkan akibat yang dapat mempengaruhi oprasional perusahaan. Maka dari itu diperlukan langkah-langkah untuk mengantisipasi dan menanggulangi kegagalan yang terjadi. *consequenses evaluation* dan *action required* pada komponen *Compressor* dapat dilihat pada tabel 4.4:

**Tabel 4.4.** Konsekuensi Kegagalan dan Tindakan Pencegahannya pada komponen *compressor* 482-C-01

FM	Consequence Evaluation				proactive Task [ H S O N ]			Default Action			Action required
	H	S	E	O	[1]	[2]	[3]	H 4	H 5	S 4	
AIR	Y	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	N	Loop test, Regular inspection, calibration
ELP	Y	N	N	Y	N	Y	N	Y	N	N	Regular Inspection
PLU	Y	Y	N	N	Y	N	N	Y	Y	N	Monitoring Instrument Indicator, Checking & Cleaning pipeline & Instrument
OHE	Y	N	N	Y	Y	N	N	Y	N	N	Re-Check instrument indicator (temperature, Pressure) periodically
STD	Y	N	N	Y	N	Y	N	Y	N	N	Regular Inspection

#### **4.1.3. Shut Down Valve**

Pada sistem gas kriogenik terdapat komponen *Shut down valve*. Dimana *Shutdown valve* berfungsi sebagai pengaman apabila terjadi kegagalan sistem akibat kelebihan/penyimpangan level, tekanan, dan temperature pada sistem gas kriogenik. P&ID dari *shutdown valve* yang terdapat ditunjukkan oleh Gambar 4.3. *Function failure* dari komponen ini adalah tidak berhasilnya *valve* dalam mengamankan sistem gas kriogenik baik level, tekanan maupun temperatur. Terdapat beberapa *failure mode* yang dapat mempengaruhi *function failure* pada komponen ini. *failure mode* dan *function failure* dapat dilihat pada Tabel 4.5.



**Gambar 4.3.** P&ID dari *Shut Down Valve* pada Sistem Gas Kriogenik

**Tabel 4.5.** Mode dan Penyebab Kegagalan Komponen *Shutdown Valve* pada Sistem Gas Kriogenik

<i>Failure modes</i>	<i>Failure modes</i>	<i>Maintainable Item</i>	<i>Failure causes</i>
<i>Abnormal instrument reading (AIR)</i>	<i>Leakage in closed position</i>	<i>Cables &amp; Junction Boxes; Instrument General; Instrument Position</i>	<i>Blockage/Plugged; Breakege; Corrosion; Instrument failure; Mechanical failure; Misc.external influence; Open circuit; Open of adjustment; &amp; Short circuiting</i>
<i>Leakage in closed position (LCP)</i>	<i>Fail to close On demand</i>	<i>Pilot valve; Stem; Valve body w/internal; Packing</i>	<i>Blockage/plugged, Instrument Failure-General, Mechanical Failure, sticking</i>
<i>Failed to close on demand (FTC)</i>	<i>Delayed operation</i>	<i>Pilot valve</i>	<i>Blockage/plugged, Instrument Failure-General, Mechanical Failure</i>
<i>Delayed operation (DOP)</i>	<i>Leakage in closed position</i>	<i>Air supply</i>	<i>Low air supply</i>
<i>Structural deficiency (STD)</i>	<i>Failed to close on demand</i>	<i>Bonnet</i>	<i>Corrosion; Misc. External influence</i>

a. *Leakage In Closed Position (LCP)*

Mode kegagalan ini termasuk ke dalam *critical severity class*. Dimana *Leakage In Closed Position* merupakan mode kegagalan yang terjadi akibat posisi penempatan valve yang tidak sesuai. Apabila mode kegagalan ini terjadi, maka efek yang dapat ditimbulkan adalah bahaya terjadinya kebakaran. Konsekuensi kegagalan pada mode ini termasuk ke dalam kategori *hidden*. Jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) yang tepat untuk menghindari mode kegagalan ini adalah *scheduled failure finding*. Sedangkan aksi/tindakan pemeliharaan yang dapat dilakukan di lapangan adalah *failure finding during overhaul period*, yaitu menemukan kegagalan atau pengecekan fungsi komponen saat sistem *overhaul* (berhenti). Selain itu, perlu dilakukan juga pengecekan ulang

dan kalibrasi secara periodik, yaitu melakukan uji fungsi dan kalibrasi dari setiap *maintainable item* yang termasuk ke dalam mode ini.

b. *Fail To Close On Demand* (FTC)

Mode kegagalan ini termasuk ke dalam *critical severity class* dengan nilai *failure rate* sebesar 4.61. Apabila mode kegagalan ini terjadi, maka efek yang dapat ditimbulkan adalah ledakan sistem. Konsekuensi kegagalan pada mode ini termasuk ke dalam kategori *hidden*, dengan *scheduled on-condition task* sebagai jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) yang tepat untuk menghindari mode kegagalan ini. Sedangkan aksi/tindakan pemeliharaan yang dapat dilakukan di lapangan adalah *failure finding during overhaul period*, yaitu menemukan kegagalan atau pengecekan fungsi komponen saat sistem *overhaul* (berhenti). Selain itu, perlu dilakukan juga pengecekan ulang dan kalibrasi secara periodik, yaitu melakukan uji fungsi dan kalibrasi dari setiap *maintainable item* yang termasuk ke dalam mode ini.

c. *Delayed Operation* (DOP)

Mode kegagalan ini termasuk ke dalam *degraded severity class* dengan nilai *failure rate* sebesar 2.14. Apabila mode kegagalan ini terjadi, maka efek yang dapat ditimbulkan adalah lambatnya sistem dalam merespon. Konsekuensi kegagalan pada mode ini termasuk ke dalam kategori *hidden*. Jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) yang tepat untuk menghindari mode kegagalan ini adalah *scheduled on-condition task*. Sedangkan aksi/tindakan pemeliharaan yang dapat dilakukan di lapangan adalah *failure finding during overhaul period*, pengecekan ulang, kalibrasi secara periodik, serta pengaturan (*tuning*) *set point*.

d. *Structural Deficiency* (STD)

kegagalan ini termasuk ke dalam *degraded severity class* dengan nilai *failure rate* sebesar 1.96. Apabila mode kegagalan ini terjadi, maka efek yang dapat ditimbulkan adalah penurunan performa sistem akibat korosi pada bonnet.

Konsekuensi kegagalan pada mode ini termasuk ke dalam kategori *hidden*, dengan *scheduled restoration task* sebagai jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) yang tepat untuk menghindari mode kegagalan ini. Sedangkan aksi/tindakan pemeliharaan yang dapat dilakukan di lapangan adalah *failure finding during overhaul period*, pengecekan ulang, dan kalibrasi secara periodik.

e. *Abnormal Intrument Reading (AIR)*

Mode kegagalan ini termasuk ke dalam *incipient severity class* dengan nilai *failure rate* sebesar 2.14. Apabila mode kegagalan ini terjadi, maka efek yang dapat ditimbulkan adalah pembacaan parameter indikator yang tidak sesuai sehingga mengakibatkan kesalahan *controller* dalam menentukan aksi SDV dan dapat membahayakan sistem. Konsekuensi kegagalan pada mode ini termasuk dalam kategori *hidden* dengan jenis pemeliharaan (*proactive task*) *scheduled restoration task*. Sedangkan aksi/tindakan pemeliharaan yang dapat dilakukan di lapangan adalah *failure finding during overhaul period*, pengecekan ulang, dan kalibrasi secara periodik.

Ketika terjadi kegagalan pada komponen *shutdown valve* maka kegagalan tersebut dapat menimbulkan akibat yang dapat mempengaruhi oprasional perusahaan. Maka dari itu diperlukan langkah-langkah untuk mengantisipasi dan menanggulangi kegagalan yang terjadi. *consequenses evaluation* dan *action required* pada komponen *Compressor* dapat dilihat pada tabel 4.6:

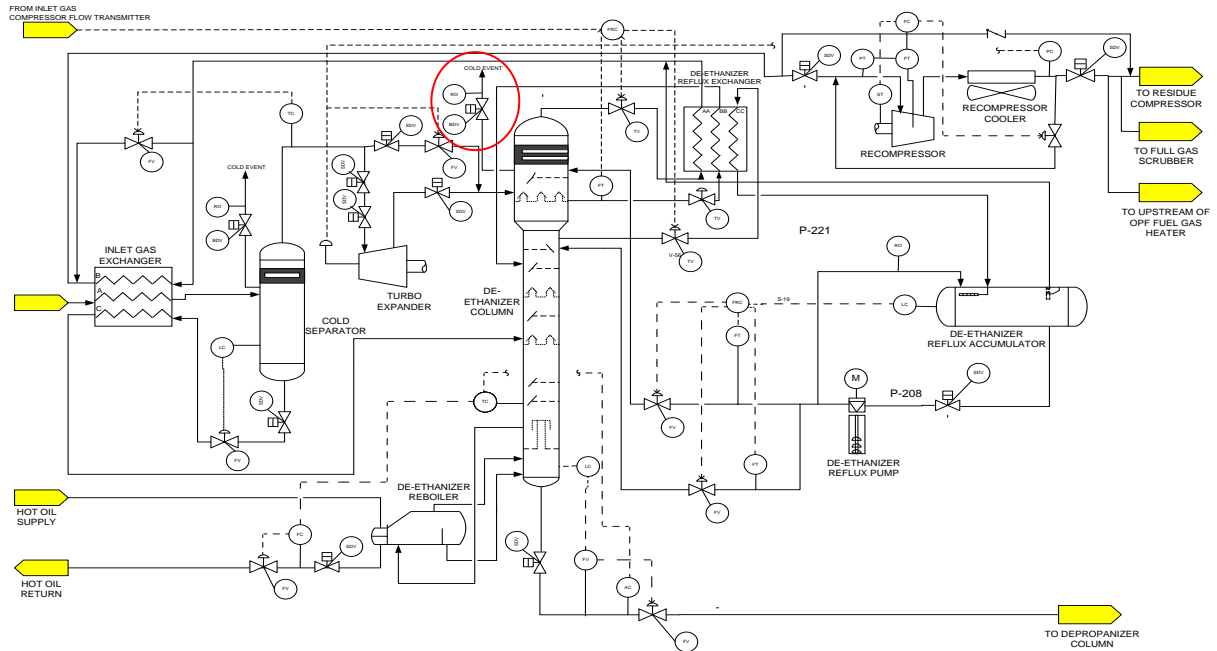


**Tabel 4.6.** Konsekuensi Kegagalan dan Tindakan Pencegahan Kegagalan pada *Shutdown Valve*

FM	<i>Consequence Evaluation</i>				<i>proactive Task</i> [ H S O N ]			<i>Default Action</i>			<i>Action required</i>
	H	S	E	O	[1]	[2]	[3]	H 4	H 5	S 4	
AIR	N	N	N	N	Y	N	N	-	-	-	Test interval; Failure finding during overhaul period; Re-testing & calibrating periodically
LCP	N	N	N	N	N	N	N	Y	-	-	Failure finding during overhaul period; Re-testing & calibrating periodically
FTC	N	N	N	N	Y	N	N	-	-	-	Test interval; Failure finding during overhaul period; Re-testing & calibrating periodically
DOP	N	N	N	N	Y	N	N	-	-	-	Failure finding during overhaul period; Re-testing periodically Calibration, Chunning & Set Point
STD	N	N	N	N	N	N	N	Y	-	-	Failure finding during overhaul period Re-testing & calibrating periodically

#### **4.1.4. Blowdown Valve**

Pada sistem gas kriogenik terdapat komponen *Blowdown valve*. Dimana *Blowdown valve* berfungsi sebagai komponen pengaman tambahan untuk membuang gas berlebih pada sistem gas kriogenik. P&ID dari *Blowdown valve* ditunjukkan oleh Gambar 4.4. *Function failure* dari komponen ini adalah tidak berhasilnya *action valve* dalam membuang gas berlebih pada sistem gas kriogenik. Terdapat beberapa *failure mode* yang dapat mempengaruhi *function failure* pada komponen ini. *failure mode* dan *function failure* dapat dilihat pada Tabel 4.7.



**Gambar 4.4.** P&ID dari *Blowdown valve* pada Sistem Gas Kriogenik

**Tabel 4.7.** Mode dan Penyebab Kegagalan komponen *Blowdown valve*

<i>Failure modes</i>	<i>Failure modes</i>	<i>Maintainable Item</i>	<i>Failure causes</i>
<i>Abnormal instrument reading (AIR)</i>	<i>Leakage in closed position</i>	<i>Cables &amp; Junction Boxes; Instrument General; Instrument Position</i>	<i>Blockage/Plugged; Breakege; Corrosion; Instrument failure; Mechanical failure; Misc.external influence; Open circuit; Open of adjustment; &amp; Short circuiting</i>
<i>Leakage in closed position (LCP)</i>	<i>Fail to close On demand</i>	<i>Pilot valve; Stem; Valve body w/internal; Packing</i>	<i>Blockage/plugged, Instrument Failure-General, Mechanical Failure, sticking</i>
<i>Failed to open on demand (FTO)</i>	<i>tend to explode on the vessel</i>	<i>Spring; Feedback relay</i>	<i>Corrosion; Aging</i>
<i>Delayed operation (DOP)</i>	<i>Leakage in closed position</i>	<i>Air supply</i>	<i>Low air supply</i>

a. *Abnormal Intrument Reading (AIR)*

Mode kegagalan ini termasuk ke dalam *incipient severity class*. Apabila mode kegagalan ini terjadi, maka efek yang dapat ditimbulkan adalah pembacaan parameter indikator yang tidak sesuai sehingga mengakibatkan kesalahan *controller* dalam menentukan aksi SDV dan dapat membahayakan sistem. Konsekuensi kegagalan pada mode ini termasuk dalam kategori *hidden* dengan jenis pemeliharaan (*proactive task*) *scheduled restoration task*. Sedangkan aksi/tindakan pemeliharaan yang dapat dilakukan di lapangan adalah *failure finding during overhaul period*, pengecekan ulang, dan kalibrasi secara periodik.

f. *Leakage In Closed Position (LCP)*

Mode kegagalan ini termasuk ke dalam *critical severity class*. Dimana *Leakage In Close Position* merupakan mode kegagalan yang terjadi akibat posisi penempatan valve

yang tidak sesuai. Apabila mode kegagalan ini terjadi, maka efek yang dapat ditimbulkan adalah bahaya terjadinya kebakaran. Konsekuensi kegagalan pada mode ini termasuk ke dalam kategori *hidden*. Jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) yang tepat untuk menghindari mode kegagalan ini adalah *scheduled failure finding*. Sedangkan aksi/tindakan pemeliharaan yang dapat dilakukan di lapangan adalah *failure finding during overhaul period*, yaitu menemukan kegagalan atau pengecekan fungsi komponen saat sistem *overhaul* (berhenti). Selain itu, perlu dilakukan juga pengecekan ulang dan kalibrasi secara periodik, yaitu melakukan uji fungsi dan kalibrasi dari setiap *maintainable item* yang termasuk ke dalam mode ini.

g. *Fail To Open On Demand* (FTO)

Mode kegagalan ini termasuk ke dalam *critical severity class*. Dimana *Fail To Open On Demand* terjadi akibat penempatan posisi valve, *supply* valve yang tidak sesuai dengan *input* yang diinginkan. Apabila mode kegagalan ini terjadi, maka efek yang dapat ditimbulkan adalah ledakan sistem. Konsekuensi kegagalan pada mode ini termasuk ke dalam kategori *hidden*, dengan *scheduled on-condition task* sebagai jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) yang tepat untuk menghindari mode kegagalan ini. Sedangkan aksi/tindakan pemeliharaan yang dapat dilakukan di lapangan adalah *failure finding during overhaul period*, yaitu menemukan kegagalan atau pengecekan fungsi komponen saat sistem *overhaul* (berhenti). Selain itu, perlu dilakukan juga pengecekan ulang dan kalibrasi secara periodik, yaitu melakukan uji fungsi dan kalibrasi dari setiap *maintainable item* yang termasuk ke dalam mode ini.

h. *Delayed Operation* (DOP)

Mode kegagalan ini termasuk ke dalam *degraded severity class*. Apabila mode kegagalan ini terjadi, maka efek yang dapat ditimbulkan adalah lambatnya sistem dalam merespon. Konsekuensi kegagalan pada mode ini termasuk ke

dalam kategori *hidden*. Jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) yang tepat untuk menghindari mode kegagalan ini adalah *scheduled on-condition task*. Sedangkan aksi/tindakan pemeliharaan yang dapat dilakukan di lapangan adalah *failure finding during overhaul period*, pengecekan ulang, kalibrasi secara periodik, serta pengaturan (*tuning*) *set point*.

Ketika terjadi kegagalan pada komponen *blow down valve* maka kegagalan tersebut dapat menimbulkan akibat yang dapat mempengaruhi oprasional perusahaan. Maka dari itu diperlukan langkah-langkah untuk mengantisipasi dan menanggulangi kegagalan yang terjadi. *consequences evaluation* dan *action required* pada komponen *blow down valve* dapat dilihat pada tabel 4.8:

**Tabel 4.8.** Konsekuensi Kegagalan dan Tindakan Pencegahan Kegagalan pada *blow down valve*

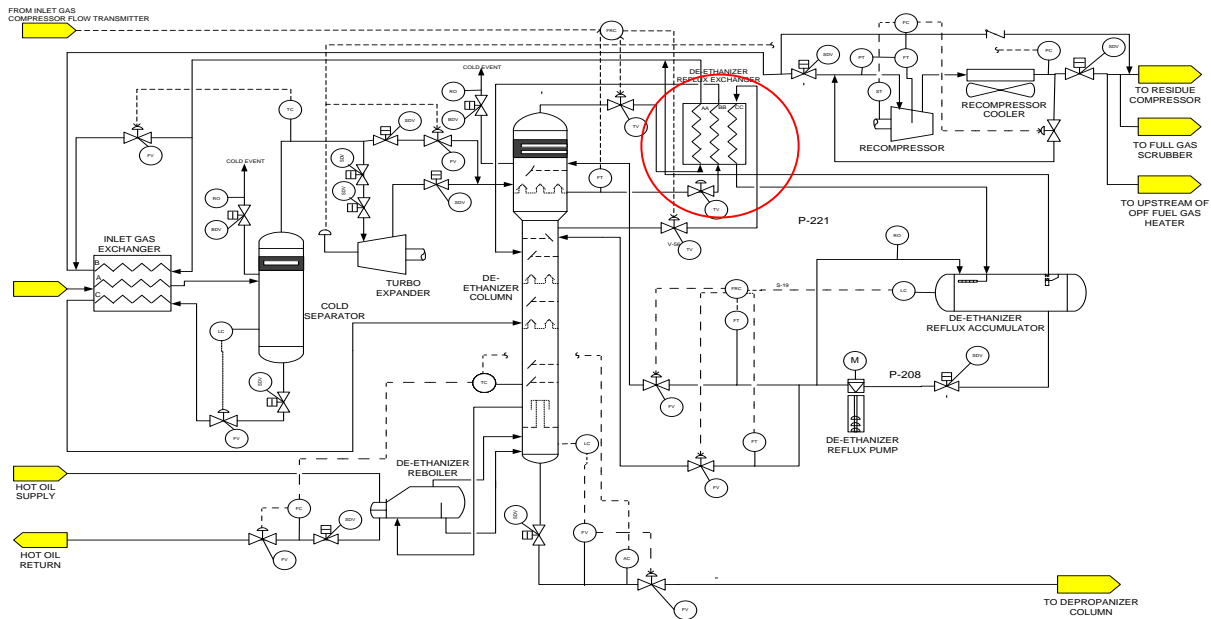
FM	Consequence Evaluation				proactive Task [ H S O N ]			Default Action			Action required
	H	S	E	O	[1]	[2]	[3]	H 4	H 5	S 4	
AIR	N	N	N	N	Y	N	N	-	-	-	Test interval; Failure finding during overhaul period; Re-testing & calibrating periodically
LCP	N	N	N	N	N	N	N	Y	-	-	Failure finding during overhaul period; Re-testing & calibrating periodically

(Lanjutan tabel 4.8)

FM	Consequence Evaluation				proactive Task [ H S O N ]			Default Action			Action required
	H	S	E	O	[1]	[2]	[3]	H 4	H 5	S 4	
FTO	N	N	N	N	Y	N	N	-	-	-	Test interval; Failure finding during overhaul period; Re-testing & calibrating periodically
DOP	N	N	N	N	Y	N	N	-	-	-	Failure finding during overhaul period; Re-testing periodically Calibration, Chunning & Set Point

#### 4.1.5 Exchanger 482-H-02

Pada sistem Gas Kriogenik terdapat komponen *exchanger* 482-H-02 pada unit de-ethanizer reflux a. *Komponen ini* berfungsi menukar panas dan mengkondensasi gas residu ( $C_1$  dan  $C_2$ ) yang keluar dari overhead *De-Ethanizer Column* 482-V-02 yang bersuhu sekitar  $-80^{\circ}\text{C}$  dengan aliran gas dari tray 15 *De-Ethanizer Column* 482-V-02. Kerja refluks juga dikontrol dengan mengontrol jumlah umpan gas yang masuk ke *De-Ethanizer Reflux Exchanger* 482-H-02. *Failure Mode and Effect Analysis*. Gambar 4.5 merupakan P&ID dari komponen *exchanger* pada proses gas kriogenik. *Function failure* pada komponen *exchanger* adalah tidak dapat bekerja secara fungsinya yaitu tidak dapat menukar panas dan mengkondensasi gas residu. Tabel penyebab kegagalan komponen *exchanger* 482-H-02 dapat dilihat pada tabel 4.9 :



**Gambar 4.5.** P&ID dari Komponen *Exchanger* 482-H-02 pada Sistem Gas Kriogenik



**Tabel 4.9.** Mode dan Penyebab Kegagalan komponen *exchanger* 482-H-02

Failure modes	Maintainable Item	Failure causes	Failure Effect
<i>Abnormal Instrument Reading (AIR)</i>	<i>Instrument (pressure), Internal power supply, Cabling and Junction Box</i>	<i>Electrical failure, Faulty signal/ indication/ alarm, No signal/ indication/ alarm</i>	<i>output of temperature isn't as expected, reduce performance</i>
<i>External leakage (ELP)</i>	<i>Instrument (pressure), Piping, Valves</i>	<i>Wear (Aus), aging, corossion, unsuitable material selection</i>	<i>Fire, environtmental pollution, fluid Losses</i>
<i>Over heating (OHE)</i>	<i>Instrument (Temperature )</i>	<i>Faulty Signal/Indication/Alarm Instrument Failure No Signal/Indication/alarm</i>	<i>high pressure and high temperature, damage to equipment</i>
<i>Structural Deficiencies (STD)</i>	<i>Body/shell Piping Valves</i>	<i>Corrosion, vibration, fatigue</i>	<i>Leakage due to corrosion in body, Performance degradation</i>

a. *Abnormal Instrument Reading (AIR)*

Mode kegagalan ini termasuk ke dalam *critical severity class* dimana *abnormal instrument reading* dikarenakan Kegagalan listrik, rusaknya sinyal / indikasi / alarm, sehingga apabila mode kegagalan ini terjadi, maka akan menimbulkan efek *over pressure* pada *pipe line* yang akan mengakibatkan *trip*

*system/shutdown system*. Konsekuensi kegagalan mode ini termasuk ke dalam kategori sistem operasi. Jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya kegagalan ini adalah dengan *schedule on-condition task*, sedangkan aksi/tindakan pemeliharaan dapat dilakukan dengan *in-condition monitoring*, yaitu memantau fungsi dari setiap *maintainable item* yang termasuk ke dalam mode ini.

b. *External Leakage-Process Medium* (ELP)

Mode kegagalan ini termasuk ke dalam *critical severity class*. Dimana *external leakage* atau Kebocoran eksternal diakibatkan oleh pemilihan bahan yang tidak tepat, korosi, umur dari exchanger itu sendiri hal tersebut dapat mengakibatkan antara lain kehilangan/kerugian material, kebakaran, dan polusi lingkungan. Konsekuensi kegagalan mode ini termasuk ke dalam kategori *safety* dengan jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) berupa *schedule on-condition task*. Aksi/tindakan yang dapat dilakukan adalah dengan NDT.

c. *Structural Deficiency* (STD)

Mode kegagalan ini termasuk ke dalam *critical severity class*. Dimana *Structural Deficiency* merupakan mode kegagalan yang terjadi akibat korosi, getaran ataupun kelelahan pada body atau kerangka pipa. Apabila mode kegagalan ini terjadi, maka dapat memperpendek masa pakai komponen dan menimbulkan kegagalan fungsi (*function failure*). Konsekuensi kegagalan mode ini termasuk ke dalam kategori operasional dengan jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) berupa *schedule on-condition task*. Aksi/tindakan yang dapat dilakukan adalah dengan NDT.

d. *Over Heating* (OHE)

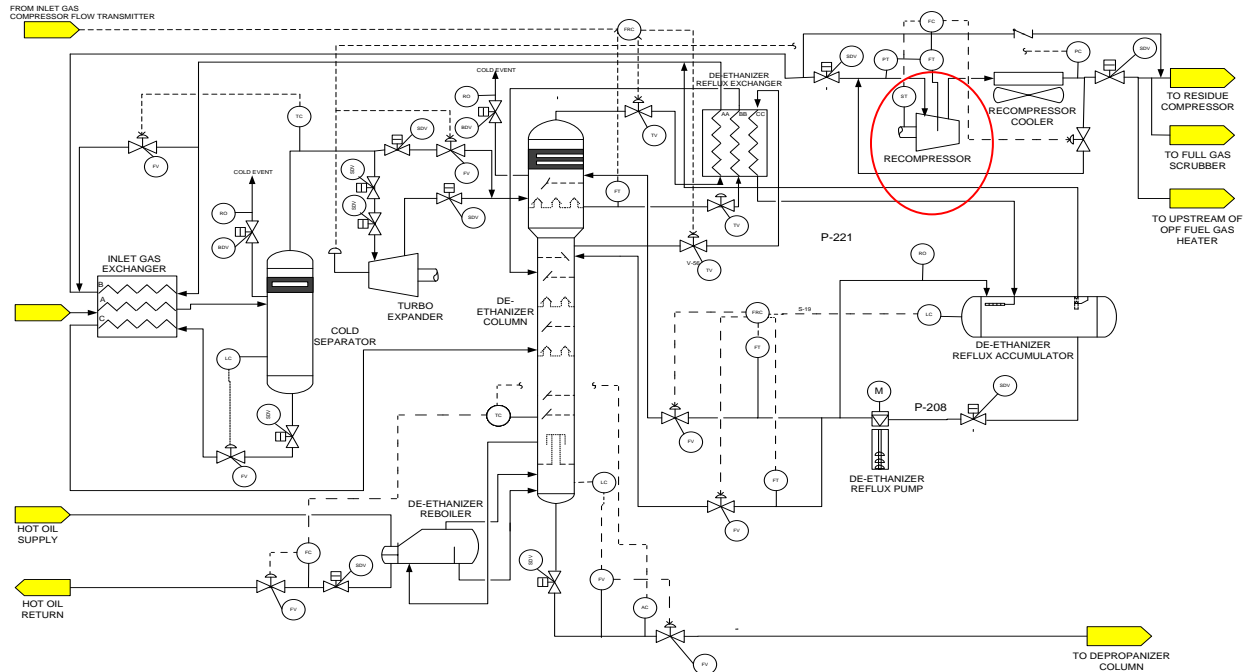
Mode kegagalan ini termasuk ke dalam *critical severity class* dimana *over heating* terjadi akibat kegagalan pada instrument, rusaknya signal/alarm dan indikasi sehingga membuat tekanan dan suhu menjadi meningkat hal tersebut membuat peralatan menjadi rusak. Apabila mode kegagalan ini terjadi, maka akan menimbulkan efek *over pressure* pada *pipe line* yang akan mengakibatkan *trip system/shutdown system*. Konsekuensi kegagalan mode ini termasuk ke dalam kategori sistem operasi. Jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya kegagalan ini adalah dengan *schedule on-condition task*, sedangkan aksi/tindakan pemeliharaan dapat dilakukan dengan *in-condition monitoring*, yaitu memantau fungsi dari setiap *maintainable item* yang termasuk ke dalam mode ini.

**Tabel 4.10.** Konsekuensi Kegagalan dan Tindakan Pencegahan Kegagalan pada *Exchanger 482-H-02*

FM	Consequence Evaluation				proactive Task [H S O N]			Default Action			Action required
	H	S	E	O	[1]	[2]	[3]	H 4	H 5	S 4	
AIR	Y	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	Loop test, calibration
ELP	Y	Y	N	N	N	Y	N	-	-	-	Regular Inspection
OHE	Y	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	Re-Check instrument indicator (temperature, Pressure) periodically
STD	Y	N	N	Y	N	Y	N	-	-	-	Regular Inspection

#### **4.1.6. *Recompressor 482-C-02***

Pada sistem Gas Kriogenik terdapat komponen *Recompressor 482-C-02*. *Komponen ini berfungsi untuk mengambil energi dari expander untuk memampatkan gas residu yang masuk dari Inlet Gas Exchanger 482-H-01 untuk diumpankan menuju ke Recompressor Cooler 482-H-09. Failure Mode and Effect Analysis.* Gambar 4.6 merupakan P&ID dari komponen recompressor pada proses gas kriogenik. *Function failure* pada komponen recompressor adalah tidak dapat bekerja secara fungsinya yaitu tidak dapat memampatkan gas residu yang masuk dari *Inlet Gas Exchanger*. Tabel penyebab kegagalan komponen *Recompressor 482-C-02* dapat dilihat pada tabel 4.11 :



**Gambar 4.6.** P&ID dari Komponen *Recompressor* 482-C-02 pada Sistem Gas Kriogenik

**Tabel 4.11.** Mode dan Penyebab Kegagalan komponen *Recompressor* 482-C-02

<i>Failure modes</i>	<i>Maintain Item</i>	<i>Failure Effect</i>	<i>Failure causes</i>
<i>Abnormal Instrument Reading (AIR)</i>	<i>Instrument (pressure), Internal power supply, Cabling and Junction Box</i>	<i>output of temperature isn't as expected, reduce performance</i>	<i>Electrical failure, Faulty signal/ indication/ alarm, No signal/ indication/ alarm</i>
<i>Structural Deficiency (STD)</i>	<i>Body/shell Piping</i>	<i>Leakage due to corrosion in body, performance degradation</i>	<i>Corrosion, vibration, fatigue</i>
<i>External Leakage (ELP)</i>	<i>Instrument (pressure), Piping, Valves</i>	<i>Risk of accident, Fire, environmental pollution</i>	<i>Cavitation, Corrosion, unsuitable material selection</i>
<i>Chocked/Plugged (PLU)</i>	<i>Instrument (pressure) Piping Valves</i>	<i>Damage to equipment, risk of accident, pipeline explosion</i>	<i>Blockage/ plugged Sticking</i>

a. *Abnormal Instrument Reading (AIR)*

Mode kegagalan ini termasuk ke dalam *critical severity class* dimana *abnormal instrument reading* dikarenakan Kegagalan listrik, rusaknya sinyal / indikasi / alarm, sehingga apabila mode kegagalan ini terjadi, maka akan menimbulkan efek *over pressure* pada *pipe line* yang akan mengakibatkan *trip system/shutdown system*. Konsekuensi kegagalan mode ini termasuk ke dalam kategori sistem operasi. Jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya

kegagalan ini adalah dengan *schedule on-condition task*, sedangkan aksi/tindakan pemeliharaan dapat dilakukan dengan *in-condition monitoring*, yaitu memantau fungsi dari setiap *maintainable item* yang termasuk ke dalam mode ini.

b. *External Leakage-Process Medium (ELP)*

Mode kegagalan ini termasuk ke dalam *critical severity class*. Dimana *external leakage* atau Kebocoran eksternal diakibatkan oleh pemilihan bahan yang tidak tepat, korosi, umur dari exchangeritu sendiri hal tersebut dapat mengakibatkan antara lain kehilangan/kerugian material, kebakaran, dan polusi lingkungan. Konsekuensi kegagalan mode ini termasuk ke dalam kategori *safety* dengan jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) berupa *schedule on-condition task*. Aksi/tindakan yang dapat dilakukan adalah dengan NDT.

c. *Structural Deficiency (STD)*

Mode kegagalan ini termasuk ke dalam *critical severity class*. Dimana *Structural Deficiency* merupakan mode kegagalan yang terjadi akibat korosi, getaran ataupun kelelahan pada body atau kerangka pipa. Apabila mode kegagalan ini terjadi, maka dapat memperpendek masa pakai komponen dan menimbulkan kegagalan fungsi (*function failure*). Konsekuensi kegagalan mode ini termasuk ke dalam kategori operasional dengan jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) berupa *schedule on-condition task*. Aksi/tindakan yang dapat dilakukan adalah dengan NDT.

d. *Plugged/Chocked* (PLU)

Mode kegagalan ini termasuk ke dalam *degraded severity class* dimana *Chocked/Plugged* merupakan kegagalan yang terjadi akibat penyumbatan pada pipa sehingga mengakibatkan Kerusakan peralatan, risiko kecelakaan, serta ledakan pada pipa. Konsekuensi kegagalan mode ini termasuk ke dalam kategori *safety*. Jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya kegagalan ini adalah dengan *scheduled restoration task*. Sedangkan untuk aksi/tindakan pemeliharaan yang dilakukan di lapangan adalah dengan melakukan pengetesan kembali dan kalibrasi secara periodik, dimana uji fungsi dan kalibrasi dilakukan pada setiap *maintainable item* yang termasuk ke dalam mode ini.

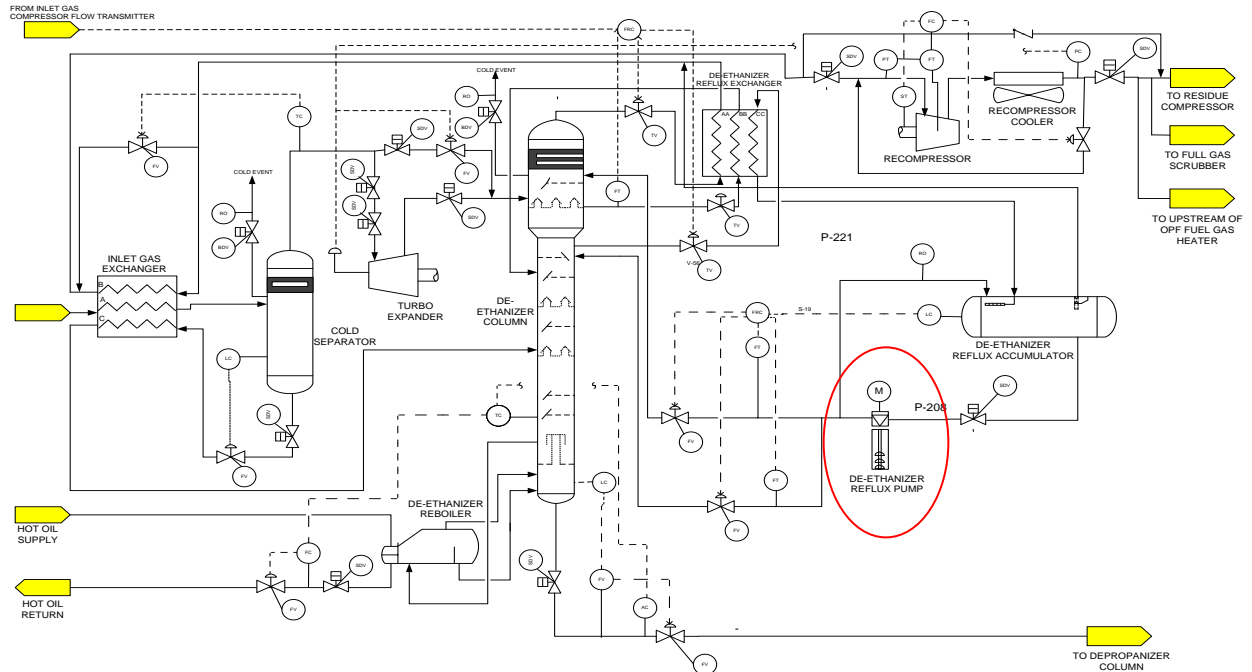
**Tabel 4.12.** Konsekuensi Kegagalan dan Tindakan Pencegahan Kegagalan pada *Recompressor 482-C-02*

FM	Consequence Evaluation				proactive Task [ H S O N ]			Default Action			Action required
	H	S	E	O	[1]	[2]	[3]	H 4	H 5	S 4	
AIR	Y	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	Loop test, calibration
ELP	Y	Y	N	N	N	Y	N	-	-	-	Regular Inspection
STD	Y	N	N	Y	N	Y	N	-	-	-	Regular Inspection
PLU	Y	Y	N	N	Y	N	N	Y	Y	N	Monitoring Instrument Indicator, Checking & Cleaning pipeline & Instrument



#### **4.1.7 Pompa 482-P-01 A/B**

Pada sistem Gas Kriogenik terdapat komponen pompa 482-P-01 A/B. *Komponen ini* berfungsi untuk mendistribusikan atau mengalirkan kembali liquid  $C_{3+}$  ke *De-Ethanizer Column* 482-V-02 di tray 1. dimana liquid  $C_{3+}$  berasal dari proses *De-Ethanizer Accumulator* 482-V-03. *Failure Mode and Effect Analysis*. Gambar 4.7 merupakan P&ID dari komponen *exchanger* pada proses gas kriogenik. *Function failure* pada komponen *exchanger* adalah tidak dapat bekerja secara fungsinya yaitu tidak dapat menukar panas dan mengkondensasi gas residu. Tabel penyebab kegagalan komponen komponen pompa 482-P-01 A/B dapat dilihat pada tabel 4.13 :



**Gambar 4.7.** P&ID dari Komponen Pompa 482-P-01 A/B pada Sistem Gas Kriogenik

**Tabel 4.13.** Mode dan Penyebab Kegagalan komponen pompa 482-P-01 A/B

<i><b>Failure modes</b></i>	<i><b>Maintain Item</b></i>	<i><b>Failure causes</b></i>	<i><b>Failure Effect</b></i>
<i>Abnormal instrument reading (AIR)</i>	<i>Cabling and Junction Boxes Control Unit Instrument (Flow, Pressure)</i>	<i>Electrical failure, Faulty (unstable) signal, Vibration, Open Circuit</i>	<i>The fluid has a flowed isn't as expected, performance degradation</i>
<i>Erratic output (ERO)</i>	<i>Control unit, Instrument (pressure)</i>	<i>Control failure Leakage Mechanical Failure (impeller)</i>	<i>The fluid has a flowed isn't as expected (unstable), inefficient energy</i>
<i>External leakage (ELP)</i>	<i>Bearing Casing Piping Oil Lubricant Valves</i>	<i>Cavitation Corrosion Vibration Mechanical Failure Wear</i>	<i>Performance degradation</i>
<i>Fail to start on demand Internal leakage (FTS)</i>	<i>Cabling and junction box, Control Unit, oil</i>	<i>Control Failure Electrical Failure Faulty Signal/Indication/Alarm Mechanical Failure No Signal/Indication/Alarm</i>	<i>Deethanizer reflux accumulator High Level</i>

(Lanjutan tabel 4.13)

<i>Failure modes</i>	<i>Maintain Item</i>	<i>Failure causes</i>	<i>Failure Effect</i>
Noise (NOI)	Bearing, Rotor, Seals, Filter, Shaft	Unsuitable Material Selection Mechanical Failure Vibration	Disturbing sense of hearing
Overheating (OHE)	Instrument (Flow, Pressure)	Mechanical Failure, Error Reading	damage to instrument (broken)

a. *Abnormal Instrument Reading (AIR)*

Mode kegagalan ini termasuk ke dalam *critical severity class* dimana *abnormal instrument reading* dikarenakan Kegagalan listrik, rusaknya sinyal / indikasi / alarm, sehingga apabila mode kegagalan ini terjadi, maka akan menimbulkan efek *over pressure* pada *pipe line* yang akan mengakibatkan *trip system/shutdown system*. Konsekuensi kegagalan mode ini termasuk ke dalam kategori sistem operasi. Jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya kegagalan ini adalah dengan *schedule on-condition task*, sedangkan aksi/tindakan pemeliharaan dapat dilakukan dengan *in-condition monitoring*, yaitu memantau fungsi dari setiap *maintainable item* yang termasuk ke dalam mode ini.

b. *External Leakage-Process Medium (ELP)*

Mode kegagalan ini termasuk ke dalam *critical severity class*. Dimana *external leakage* atau Kebocoran eksternal diakibatkan oleh pemilihan bahan yang tidak tepat, korosi, umur dari exchanger itu sendiri hal tersebut dapat mengakibatkan antara lain kehilangan/kerugian material, kebakaran, dan polusi lingkungan. Konsekuensi

kegagalan mode ini termasuk ke dalam kategori *safety* dengan jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) berupa *schedule on-condition task*. Aksi/tindakan yang dapat dilakukan adalah dengan NDT.

c. *Over Heating* (OHE)

Mode kegagalan ini termasuk ke dalam *critical severity class* dimana *over heating* terjadi akibat kegagalan pada instrument, rusaknya signal/alarm dan indikasi sehingga membuat tekanan dan suhu menjadi meningkat hal tersebut membuat peralatan menjadi rusak. Apabila mode kegagalan ini terjadi, maka akan menimbulkan efek *over pressure* pada *pipe line* yang akan mengakibatkan *trip system/shutdown system*. Konsekuensi kegagalan mode ini termasuk ke dalam kategori sistem operasi. Jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya kegagalan ini adalah dengan *schedule on-condition task*, sedangkan aksi/tindakan pemeliharaan dapat dilakukan dengan *in-condition monitoring*, yaitu memantau fungsi dari setiap *maintainable item* yang termasuk ke dalam mode ini.

d. *Erratic output* (ERO)

Mode kegagalan ini termasuk ke dalam *critical severity class* dimana *Erratic output* merupakan akibat dari kegagalan control, Kebocoran dan juga Kegagalan mekanis sehingga fluida yang mengalir tidak stabil. Apabila mode ini ter jadi maka efek yang dapat ditimbulkan adalah penurunan performa pompa. Konsekuensi mode ini termasuk ke dalam katagori *hidden*, dengan *schedule on-condition task* sebagai jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) yang sesuai. Sedangkan untuk aksi/tindakan yang dapat dilakukan di lapangan adalah NDT

e. Fail to start on demand (FTS)

Mode kegagalan ini termasuk ke dalam *critical severity class* dimana Fail to start on demand terjadi akibat Kegagalan control, listrik, Rusaknya Signal / Indikasi / Alarm, dan juga dapat terjadi akibat Kegagalan mekanis hal tersebut dapat berakibat. Apabila mode ini ter jadi maka efek yang dapat ditimbulkan adalah Deethanizer refluks acumulator memiliki level yang tinggi. Konsekuensi mode ini termasuk ke dalam katagori *hidden*, dengan *schedule on-condition task* sebagai jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) yang sesuai. Sedangkan untuk aksi/tindakan yang dapat dilakukan di lapangan adalah NDT

f. Noise (NOI)

Mode kegagalan ini termasuk ke dalam *critical severity class*. Dimana Noise atau Kebisinganterjadi akibat pemilihan bahan yang tidak cocok ataupun terjadi getaran. Hal tersebut dapat berakibat mengganggu pendengaran. Konsekuensi kegagalan mode ini termasuk ke dalam kategori *safety* dengan jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) berupa *schedule on-condition task*. Aksi/tindakan yang dapat dilakukan adalah dengan NDT.

**Tabel 4.15.** Konsekuensi Kegagalan dan Tindakan Pencegahan Kegagalan pada pompa 482-P-01 A/B

FM	Consequence Evaluation				proactive Task [ H S O N]			Default Action			Action required
	H	S	E	O	[1]	[2]	[3]	H 4	H 5	S 4	
AIR	Y	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	N	Loop test, Regular inspection, calibration

(Lanjutan tabel 4.14)

FM	Consequence Evaluation				proactive Task [ H S O N ]			Default Action			Action required
	H	S	E	O	[1]	[2]	[3]	H 4	H 5	S 4	
AIR	Y	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	N	Loop test, Regular inspection, calibration

#### 4.1.8 Temperature Transmitter

Pada sistem gas kriogenik terdapat komponen *temperature transmitter*. Dimana *temperature transmitter* berfungsi sebagai alat ukur temperatur di lapangan pada sistem gas kriogenik. *Function failure* dari komponen ini adalah gagal komponen untuk mengukur/mengindikasikan temperature sistem gas kriogenik. *failure mode temperature transmitter* dapat dilihat pada tabel 4.16 sedangkan konsekuensi kegagalan beserta tindakan pencegahannya ditunjukkan oleh Tabel 4.17.

**Tabel 4.16.** Mode dan Penyebab Kegagalan *Temperature Transmitter*

Failure modes	Maintainable Item	Failure Effects	Failure cau
Abnormal instrument reading (AIR)	Bimetal temperature sensor	Reduce performance	Instrument drift
Structural deviation (STD)	Thermowell	Reduce performance	Erosion; Corroton and incompatibility with system condition

##### a. Abnormal Intrument Reading (AIR)

Apabila mode kegagalan ini terjadi, maka efek yang dapat ditimbulkan adalah penurunan performa sistem gas kriogenik. Konsekuensi mode ini termasuk ke dalam katagori

*hidden*, dengan jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) berupa *schedule on-condition task*. Sedangkan aksi/tindakan pemeliharaan yang dapat dilakukan di lapangan adalah kalibrasi dan pengecekan ulang komponen secara berkala/periodik.

b. *Structural Deficiency (STD)*

Apabila mode kegagalan ini terjadi, maka efek yang dapat ditimbulkan adalah penurunan performa sistem Gas kriogenik. Konsekuensi mode kegagalan ini termasuk ke dalam katagori *safety*, dengan jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) berupa *schedule on-condition task*. Sedangkan aksi/tindakan pemeliharaan yang dapat dilakukan di lapangan adalah inspeksi secara berkala/periodik.

c. *Abnormal Intrument Reading (AIR)*

Apabila mode kegagalan ini terjadi, maka efek yang dapat ditimbulkan adalah penurunan performa sistem gas kriogenik. Konsekuensi mode ini termasuk ke dalam katagori *hidden*, dengan jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) berupa *schedule on-condition task*. Sedangkan aksi/tindakan pemeliharaan yang dapat dilakukan di lapangan adalah kalibrasi dan pengecekan ulang komponen secara berkala/periodik.

4.1.9 **Tabel 4.17.** Konsekuensi Kegagalan dan Tindakan Pencegahan Kegagalan pada *Temperature Transmitter*

FM	Consequence Evaluation					proactive Task			Default Action			Action required
						[ H S O N ]						
	H	S	E	O	[1]	[2]	[3]	H 4	H 5	S 4		
AIR	N	N	N	N	Y	N	N	-	-	-	Re-testing & calibration periodically	
STD	Y	Y	N	N	Y	N	N	-	-	-	Periodic Inspection	



#### 4.1.10 *Pressure Transmitter*

Pada sistem gas kriogenik terdapat komponen *pressure transmitter* berfungsi sebagai alat ukur tekanan di lapangan pada sistem gas kriogenik. *Function failure* komponen ini adalah gagalnya alat ukur untuk mengukur tekanan pada sistem gas kriogenik. *failure mode pressure transmitter* dapat dilihat pada tabel 4.18 sedangkan konsekuensi kegagalan beserta tindakan pencegahannya ditunjukkan oleh Tabel 4.19.

**Tabel 4.18.** Mode dan Penyebab Kegagalan *Pressure Transmitter*

<i>Failure modes</i>	<i>Maintainabl e Item</i>	<i>Failure Effects</i>	<i>Failure cau</i>
<i>Abnormal instrument reading (AIR)</i>	<i>Bimetal temperature sensor</i>	<i>Reduce performance</i>	<i>Instrument drift</i>
<i>Structural deviation (STD)</i>	<i>Thermowell</i>	<i>Reduce performance</i>	<i>Erosion; Corroton and incompatibility with system condition</i>
<i>External leakage - Process medium (ELP)</i>	<i>Glass Scale</i>	<i>Reduce performance</i>	<i>Fatigue</i>

Penjabaran dari Tabel 4.16 adalah sebagai berikut.

a. *Abnormal Intrument Reading (AIR)*

Apabila mode kegagalan ini terjadi, maka efek yang dapat ditimbulkan adalah penurunan performa sistem gas kriogenik. Konsekuensi mode ini termasuk ke dalam katagori *hidden*, dengan jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) berupa *schedule on-condition task*. Sedangkan aksi/tindakan pemeliharaan yang dapat dilakukan di lapangan adalah kalibrasi dan pengecekan ulang komponen secara berkala/periodik.

*b. Structural Deficiency (STD)*

Apabila mode kegagalan ini terjadi, maka efek yang dapat ditimbulkan adalah penurunan performa sistem Gas kriogenik. Konsekuensi mode kegagalan ini termasuk ke dalam katagori *safety*, dengan jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) berupa *schedule on-condition task*. Sedangkan aksi/tindakan pemeliharaan yang dapat dilakukan di lapangan adalah inspeksi secara berkala/periodik.

*c. External Leakage-Process Medium (ELP)*

Apabila mode ini terjadi, maka efek yang dapat ditimbulkan adalah penurunan performa sistem gas kriogenik. Konsekuensi mode ini termasuk ke dalam katagori *hidden*, dengan *schedule on-condition task* sebagai jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) yang sesuai. Sedangkan untuk aksi/tindakan yang dapat dilakukan di lapangan adalah NDT (*nonDestructive Testing*). NDT merupakan inspeksi terhadap suatu benda untuk mengetahui adanya cacat, retak, atau diskontinuitas lainnya tanpa merusak benda uji atau inspeksi.

**Tabel 4.19.** Konsekuensi Kegagalan dan Tindakan Pencegahan Kegagalan pada *Pressure Transmitter*

FM	Consequence Evaluation				proactive Task [ H S O N ]			Default Action			Action required
	H	S	E	O	[1]	[2]	[3]	H 4	H 5	S 4	
AIR	N	N	N	N	Y	N	N	-	-	-	Re-testing & calibration periodically
STD	Y	Y	N	N	Y	N	N	-	-	-	Periodic Inspection
ELP	N	N	N	N	Y	N	N	-	-	-	NDT (Non Destructive Testing)

#### 4.1.11 Level Transmitter

Pada sistem gas kriogenik terdapat komponen *level transmitter* berfungsi sebagai alat ukur *level* di lapangan pada sistem gas kriogenik. *Function failure* komponen ini adalah gagalnya alat ukur untuk mengukur tekanan pada sistem gas kriogenik. *failure mode level transmitter* dapat dilihat pada tabel 4.20 sedangkan konsekuensi kegagalan beserta tindakan pencegahannya ditunjukkan oleh Tabel 4.21.

**Tabel 4.20.** Mode dan Penyebab Kegagalan *Level Transmitter*

<i>Failure modes</i>	<i>Maintainable Item</i>	<i>Failure Effects</i>	<i>Failure cau</i>
<i>Abnormal instrument reading (AIR)</i>	<i>Bimetal temperature sensor</i>	<i>Reduce performance</i>	<i>Instrument drift</i>
<i>Structural deviation (STD)</i>	<i>Thermowell</i>	<i>Reduce performance</i>	<i>Erosion; Corrosion and incompatibility with system condition</i>
<i>External leakage - Process medium (ELP)</i>	<i>Glass Scale</i>	<i>Reduce performance</i>	<i>Fatigue</i>

##### a. *Abnormal Intrument Reading (AIR)*

Apabila mode kegagalan ini terjadi, maka efek yang dapat ditimbulkan adalah penurunan performa sistem gas kriogenik. Konsekuensi mode ini termasuk ke dalam katagori *hidden*, dengan jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) berupa *schedule on-condition task*. Sedangkan aksi/tindakan pemeliharaan yang dapat dilakukan di lapangan adalah kalibrasi dan pengecekan ulang komponen secara berkala/periodik.

b. *Structural Deficiency (STD)*

Apabila mode kegagalan ini terjadi, maka efek yang dapat ditimbulkan adalah penurunan performa sistem Gas kriogenik. Konsekuensi mode kegagalan ini termasuk ke dalam katagori *safety*, dengan jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) berupa *schedule on-condition task*. Sedangkan aksi/tindakan pemeliharaan yang dapat dilakukan di lapangan adalah inspeksi secara berkala/periodik.

c. *External Leakage-Process Medium (ELP)*

Apabila mode ini terjadi, maka efek yang dapat ditimbulkan adalah penurunan performa sistem gas kriogenik. Konsekuensi mode ini termasuk ke dalam katagori *hidden*, dengan *schedule on-condition task* sebagai jenis pemeliharaan (*proactive maintenance*) yang sesuai. Sedangkan untuk aksi/tindakan yang dapat dilakukan di lapangan adalah NDT (*nonDestructive Testing*). NDT merupakan inspeksi terhadap suatu benda untuk mengetahui adanya cacat, retak, atau diskontinuitas lainnya tanpa merusak benda uji atau inspeksi.

**Tabel 4.21.** Konsekuensi Kegagalan dan Tindakan Pencegahan Kegagalan pada *Level Transmitter*

FM	Consequence Evaluation				proactive Task [ H S O N ]			Default Action			Action required
	H	S	E	O	[1]	[2]	[3]	H 4	H 5	S 4	
AIR	N	N	N	N	Y	N	N	-	-	-	Re-testing & calibration periodically
STD	Y	Y	N	N	Y	N	N	-	-	-	Periodic Inspection
ELP	N	N	N	N	Y	N	N	-	-	-	NDT (Non Destructive Testing)

## 4.2 Evaluasi Kuantitatif pada Sistem Gas Kriogenik

Pada tugas akhir ini, evaluasi kuantitatif digunakan untuk mencari nilai kehandalan pada komponen penyusun proses. Dari data kerusakan akan didapatkan nilai *Time To Failure* (TTF), *Time To Repair* (TTR) dan pola distribusi serta parameter yang selanjutnya akan digunakan untuk mencari nilai reliability dari masing-masing komponen. Perhitungan nilai reliability didapatkan dengan menggunakan parameter *Time To Failure* (TTF), dan perhitungan maintainability menggunakan parameter *Time To Repair* (TTR). Berikut merupakan data *maintenance record* dari sistem Gas Kriogenik.

### 4.2.1 Evaluasi Kuantitatif Komponen *Exchanger* 482-H-01

Dalam rentan waktu dari tahun 2008 sampai dengan tahun 2015 terjadi kerusakan pada komponen *exchanger* 482-H-01. Berikut merupakan data kerusakan komponen *exchanger* 482-H-01

**Tabel 4.22** : Data kerusakan komponen *exchanger* 482-H-01

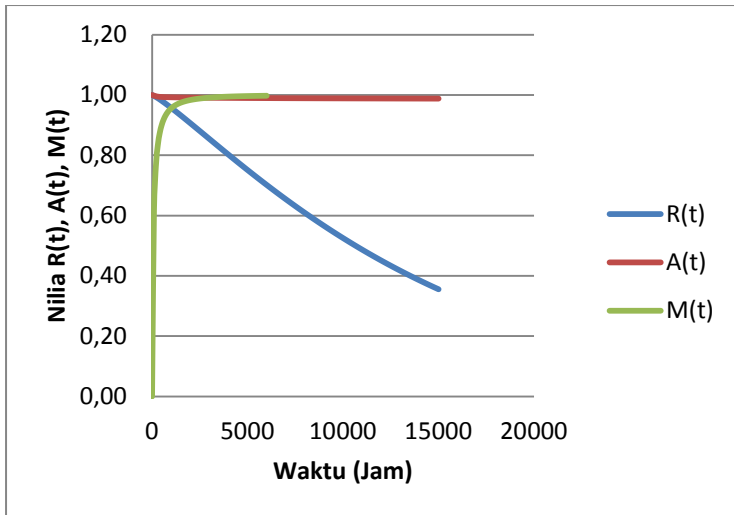
No	Raise Date	Finish Date	TTF (day)	TTF (hours)
1	06/27/2010	11/05/2010	131	3144
2	11/05/2010	08/21/2013	1020	24480
Jumlah			1151	27624

Berdasarkan data *maintenance record* didapatkan distribusi *Time To Failure* (TTF) yang sesuai yaitu distribusi weibull dengan parameter  $\beta=1,1691$  dan  $\eta=14574$ . distribusi weibull memiliki karakteristik laju kegagalan tinggi terhadap waktu Hasil pengolahan data kegagalan nilai masukan (*input*) untuk uji distribusi waktu kegagalan menggunakan *software Reliasoft Weibull 6++*. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.23 di bawah ini.

**Tabel 4.23.** Data Pengujian Distribusi Waktu Kegagalan komponen *exchanger* 482-H-01

Distribusi	AVGOF	AVPLOT	LKV	Rnk.
<b>Eksponential 1</b>	0.00035	17.788	-21.066	2
<b>Eksponential 2</b>	DISCARD	DISCARD	DISCARD	5
<b>Normal</b>	0.0056	16.666	-21.581	4
<b>Lognormal</b>	0.0056	16.666	-21.241	3
<b>Weibull 2</b>	0.00096	16.449	-21.033	1
<b>Weibull 3</b>	DISCARD	DISCARD	DISCARD	5

Berdasarkan data pengujian pada Tabel 4.23, nilai AVGOF (*average goodness of fit*), AVPLOT (*average of plot fit*) dan LKV (*likelihood function*) terkecil terdapat pada jenis distribusi weibull 2. Nilai AVGOF, AVPLOT, dan LKV terkecil merupakan nilai terbaik untuk hasil uji distribusi waktu kegagalan. Setelah diketahui distribusi dan parameter data tersebut digunakan untuk mencari nilai dari reliability, availability dan maintainability. Berikut merupakan grafik dari komponen *exchanger* 482-H-01:

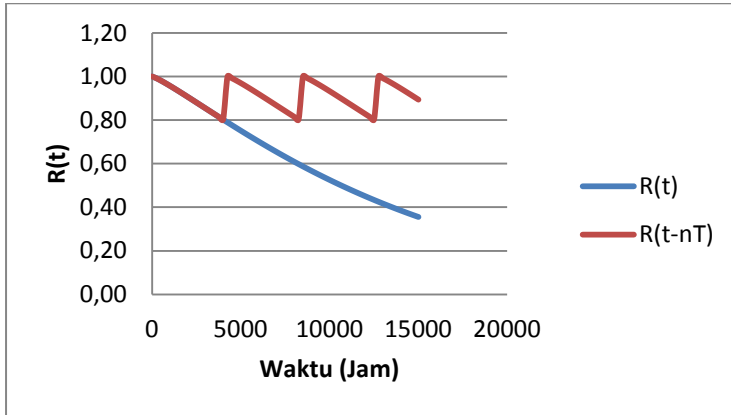


**Gambar 4.8.** Grafik Keandalan (*Reliability*), *Availability*, *Maintainability* pada Komponen *exchanger* 482-H-01

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa komponen *exchanger* memiliki nilai keandalan 0.8 pada interval 4000 jam operasi. Nilai *availability* pada komponen *exchanger* dicari dengan menggunakan persamaan 2.21, dan didapatkan nilai pada interval 250 jam operasi komponen *exchanger* mempunyai nilai *availability* sebesar 0.9. Hal ini menunjukkan bahwa komponen ini memiliki ketersediaan yang masih tinggi pada jam operasi ke-250. Sedangkan untuk mencari nilai *maintainability* menggunakan distribusi Time To Repair (TTR) dimana data tersebut dimasukkan kedalam persamaan 2.15. Nilai *maintainability* 1.0 didapatkan pada jam ke-4200.

Setelah didapatkan nilai keandalan (*reliability*) selanjutnya dilakukan uji performansi sistem ketika tindakan *preventive maintenance* diberikan pada komponen *exchanger* pada sistem gas kriogenik. Berikut merupakan gambar

komponen *exchanger* setelah dilakukan perlakuan preventive maintenance.



**Gambar 4.9.** Grafik Keandalan (*Reliability*), *Availability*, *Maintainability* pada Komponen *exchanger* 482-H-01

Pada gambar 4.9 menunjukkan bahwa pemeliharaan yang tepat pada komponen *exchanger* adalah dilakukan *preventive maintenance* dengan waktu pemeliharaan adalah 4000 jam operasi.

#### 4.2.2 Evaluasi Kuantitatif Komponen *Compressor* 482-C-01

Dalam rentan waktu dari tahun 2008 sampai dengan tahun 2015 terjadi kerusakan pada komponen *compressor* 482-C-01. Berikut merupakan data kerusakan komponen *compressor* 482-C-01.



**Tabel 4.24** : Data kerusakan komponen *compressor* 482-C-01.

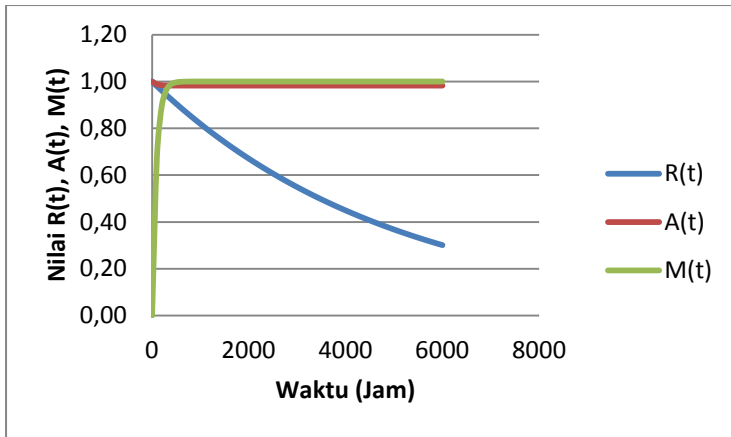
No	Raise Date	Finish Date	TTF (day)	TTF (hours)
1	05/14/2009	05/15/2009	1	24
2	05/19/2009	06/19/2009	31	744
3	06/19/2009	06/20/2009	1	24
4	06/20/2009	12/03/2009	166	3984
5	12/03/2009	07/26/2010	235	5640
6	07/26/2010	05/12/2011	290	6960
7	05/18/2011	11/08/2011	174	4176
8	11/09/2011	06/24/2012	228	5472
9	06/26/2012	09/02/2013	433	10392
<b>Jumlah</b>			<b>1559</b>	<b>37416</b>

Berdasarkan data *maintenance record* didapatkan distribusi *Time To Failure* (TTF) yang sesuai yaitu distribusi *exponential* dengan parameter  $\lambda=0.0002$ . Distribusi *exponential* memiliki karakteristik laju kegagalan konstan terhadap waktu Hasil pengolahan data kegagalan nilai masukan (*input*) untuk uji distribusi waktu kegagalan menggunakan *software Reliasoft Weibull 6++*. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.25 di bawah ini.

**Tabel 4.25.** Data Pengujian Distribusi Waktu Kegagalan *compressor* 482-C-01.

Distribusi	AVGOF	AVPLOT	LKV	Rnk.
<b>Eksponential 1</b>	0.00035	17.788	-21.066	1
<b>Eksponential 2</b>	DISCARD	DISCARD	DISCARD	5
<b>Normal</b>	0.005	16.66	-21.581	4
<b>Lognormal</b>	0.005	16.66	-21.24	3
<b>Weibull 2</b>	0.0009	16.449	-21.033	2
<b>Weibull 3</b>	DISCARD	DISCARD	DISCARD	5

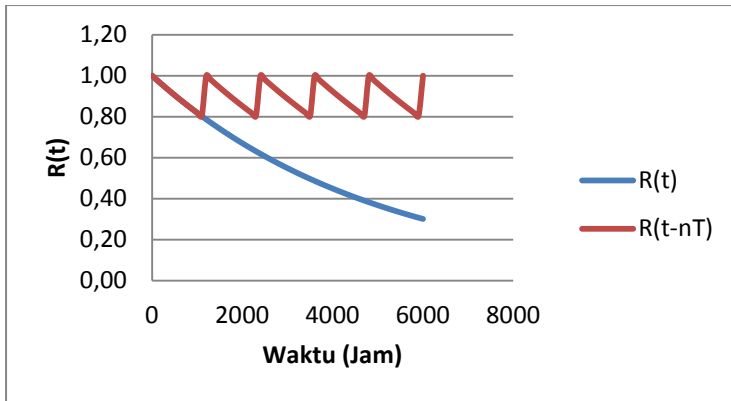
Berdasarkan data pengujian pada Tabel 4.25, nilai AVGOF (*average goodness of fit*), AVPLOT (*average of plot fit*) dan LKV (*likelihood function*) terkecil terdapat pada jenis distribusi weibull 2. Nilai AVGOF, AVPLOT, dan LKV terkecil merupakan nilai terbaik untuk hasil uji distribusi waktu kegagalan. Setelah diketahui distribusi dan parameter data tersebut digunakan untuk mencari nilai dari reliability, availability dan maintainability. Berikut merupakan grafik dari komponen *compressor* 482-C-02:



**Gambar 4.10.** Grafik Keandalan (*Reliability*), *Availability*, *Maintainability* pada Komponen *compressor* 482-C-02:

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa komponen *compressor* memiliki nilai keandalan 0.8 pada interval 1100jam operasi. Nilai *availability* pada komponen *compressor* dicari dengan menggunakan persamaan 2.21, dan didapatkan nilai pada interval 100 jam operasi komponen *exchanger* mempunyai nilai *availability* sebesar 0.98. Hal ini menunjukkan bahwa komponen ini memiliki ketersediaan yang masih tinggi pada jam operasi ke-1100. Sedangkan untuk mencari nilai *maintainability* menggunakan distribusi Time To Repair (TTR) dimana data tersebut dimasukkan kedalam persamaan 2.15. Nilai *maintainability* 1.0 didapatkan pada jam ke-500.

Setelah didapatkan nilai keandalan (*reliability*) selanjutnya dilakukan uji performansi sistem ketika tindakan *preventive maintenance* diberikan pada komponen *compressor* pada sistem gas kriogenik. Berikut merupakan gambar komponen *compressor* setelah dilakukan perlakuan *preventine maintenance*.



**Gambar 4.11.** Grafik Keandalan (*Reliability*), *Availability*, *Maintainability* pada Komponen *compressor* 482-C-02

Pada gambar 4.11 menunjukkan bahwa pemeliharaan yang tepat pada komponen exchanger adalah dilakukan *preventive maintenance* dengan waktu pemeliharaan adalah 1100 jam operasi.

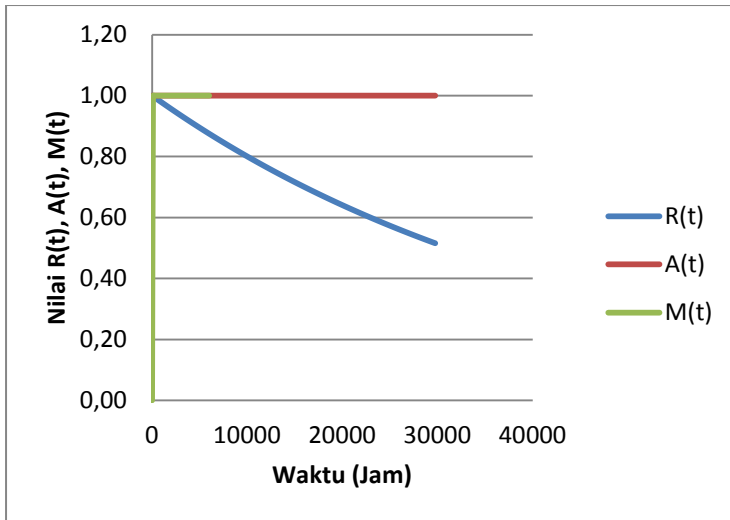
#### 4.2.3 Evaluasi Kuantitatif Komponen *Shut Down Valve*

Dalam rentan waktu dari tahun 2008 sampai dengan tahun 2015 terjadi kerusakan pada komponen *shut down valve*. Berikut merupakan data kerusakan komponen *shut down valve*. Berdasarkan data *maintenance record* didapatkan distribusi *Time To Failure* (TTF) yang sesuai yaitu distribusi *exponential* dengan parameter  $\lambda=0.0000219$ . Distribusi *exponential* memiliki karakteristik laju kegagalan konstan terhadap waktu. Hasil pengolahan data kegagalan nilai masukan (*input*) untuk uji distribusi waktu kegagalan menggunakan *software Reliasoft Weibull 6++*. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.26 di bawah ini.

**Tabel 4.26.** Data Pengujian Distribusi Waktu Kegagalan *shut down valve*

Distribusi	AVGOF	AVPLOT	LKV	Rnk.
<b>Eksponential 1</b>	DISCARD	DISCARD	DISCARD	1
<b>Eksponential 2</b>	DISCARD	DISCARD	DISCARD	1
<b>Normal</b>	DISCARD	DISCARD	DISCARD	1
<b>Lognormal</b>	DISCARD	DISCARD	DISCARD	1
<b>Weibull 2</b>	DISCARD	DISCARD	DISCARD	1
<b>Weibull 3</b>	DISCARD	DISCARD	DISCARD	1

Berdasarkan data pengujian pada Tabel 4.26, nilai AVGOF (*average goodness of fit*), AVPLOT (*average of plot fit*) dan LKV (*likelihood function*) terkecil terdapat kesamaan pada jenis distribusi. Nilai AVGOF, AVPLOT, dan LKV terkecil dapat dipilih salah satu nilai terbaik yaitu distribusi waktu kegagalan. Setelah diketahui distribusi dan parameter data tersebut digunakan untuk mencari nilai dari reliability, availability dan maintainability. Berikut merupakan grafik dari komponen *shut down valve*:

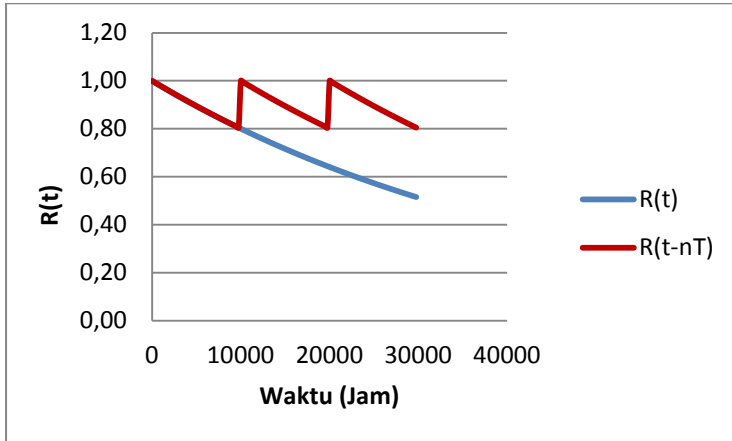


**Gambar 4.12.** Grafik Keandalan (*Reliability*), *Availability*, *Maintainability* pada Komponen *Shutdown Valve*

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa komponen *shut down valve* memiliki nilai keandalan 0.8 pa da interval 1100jam operasi. Nilai *availability* pada komponen *shut down valve* dicari dengan menggunakan persamaan 2.21, dan didapatkan nilai pada interval 250 jam operasi komponen *shut down valve* mempunyai nilai *availability* sebesar 0.99. Hal ini menunjukkan bahwa komponen ini memiliki ketersediaan yang masih tinggi pada jam operasi ke-250. Sedangkan untuk mencari nilai *maintainability* menggunakan distribusi Time To Repair (TTR) dimana data tersebut dimasukkan kedalam persamaan 2.15. Nilai *maintainability* 1.0 didapatkan pada jam ke-100.

Setelah didapatkan nilai keandalan (*reliability*) selanjutnya dilakukan uji performansi sistem ketika tindakan *preventive maintenance* diberikan pada komponen *shut down valve* pada sistem gas kriogenik. Berikut merupakan gambar

komponen *shut down valve* setelah dilakukan perlakuan preventive maintenance.



**Gambar 4.13.** Grafik Keandalan (*Reliability*), *Availability*, *Maintainability* pada Komponen *Shutdown Valve*

Pada gambar 4.13 menunjukkan bahwa pemeliharaan yang tepat pada komponen *shut down valve* adalah dilakukan *preventive maintenance* dengan waktu pemeliharaan adalah 9750 jam operasi.

#### 4.2.4 Evaluasi Kuantitatif Komponen *Blow Down Valve*

Dalam rentan waktu dari tahun 2008 sampai dengan tahun 2015 terjadi kerusakan pada komponen *blow down valve*. Berikut merupakan data kerusakan komponen *blow down valve*. Berdasarkan data *maintenance record* didapatkan distribusi *Time To Failure* (TTF) yang sesuai yaitu distribusi *exponential* dengan parameter  $\lambda=0.0000185$ . Distribusi *exponential* memiliki karakteristik laju kegagalan konstan terhadap waktu Hasil pengolahan data kegagalan nilai masukan (*input*) untuk uji distribusi waktu kegagalan

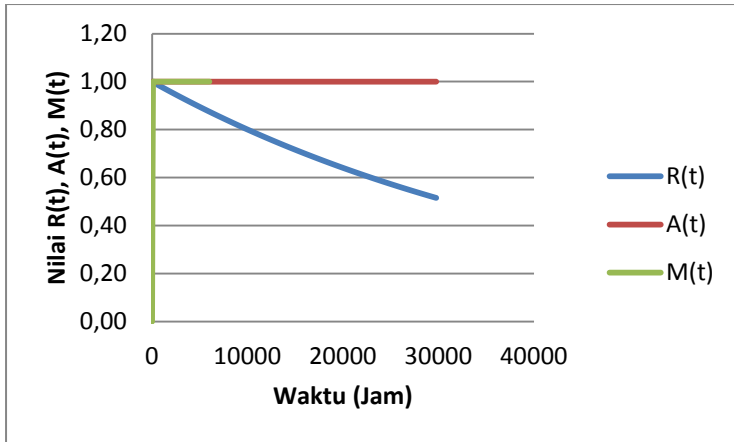
menggunakan *software Reliasoft Weibull 6++*. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.27 di bawah ini.

**Tabel 4.27.** Data Pengujian Distribusi Waktu Kegagalan *blow down valve*

Distribusi	AVGOF	AVPLOT	LKV	Rnk.
<b>Eksponential 1</b>	DISCARD	DISCARD	DISCARD	1
<b>Eksponential 2</b>	DISCARD	DISCARD	DISCARD	1
<b>Normal</b>	DISCARD	DISCARD	DISCARD	1
<b>Lognormal</b>	DISCARD	DISCARD	DISCARD	1
<b>Weibull 2</b>	DISCARD	DISCARD	DISCARD	1
<b>Weibull 3</b>	DISCARD	DISCARD	DISCARD	1

Berdasarkan data pengujian pada Tabel 4.27, nilai AVGOF (*average goodness of fit*), AVPLOT (*average of plot fit*) dan LKV (*likelihood function*) terkecil terdapat kesamaan pada jenis distribusi. Nilai AVGOF, AVPLOT, dan LKV terkecil dapat dipilih salah satu nilai terbaik yaitu distribusi waktu kegagalan. Setelah diketahui distribusi dan parameter data tersebut digunakan untuk mencari nilai dari reliability, availability dan maintainability. Berikut merupakan grafik dari komponen *blow down valve*..:

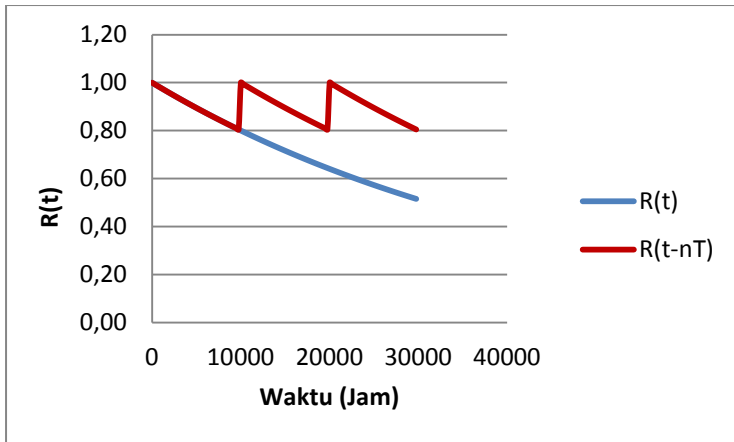




**Gambar 4.14.** Grafik Keandalan (*Reliability*), *Availability*, *Maintainability* pada *blow down valve*

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa komponen *shut down valve* memiliki nilai keandalan 0.8 pa da interval 11750jam operasi. Nilai *availability* pada komponen *blow down valve*.dicari dengan menggunakan persamaan 2.21, dan didapatkan nilai pada interval 250 jam operasi komponen *shut down valve* mempunyai nilai *availability* sebesar 0.99. Hal ini menunjukkan bahwa komponen ini memiliki ketersediaan yang masih tinggi pada jam operasi ke-250. Sedangkan untuk mencari nilai *maintainability* menggunakan distribusi Time To Repair (TTR) dimana data tersebut dimasukkan kedalam persamaan 2.15. Nilai *maintainability* 1.0 didapatkan pada jam ke-100.

Setelah didapatkan nilai keandalan (*reliability*) selanjutnya dilakukan uji performansi sistem ketika tindakan *preventive maintenance* diberikan pada komponen *blow down valve*. pada sistem gas kriogenik. Berikut merupakan gambar komponen *blow down valve*.setelah dilakukan perlakuan *preventine maintenance*.



**Gambar 4.15.** Grafik Keandalan (*Reliability*), *Availability*, *Maintainability* pada Komponen *blow down valve*

Pada gambar 4.15 menunjukkan bahwa pemeliharaan yang tepat pada komponen *blow down valve* adalah dilakukan *preventive maintenance* dengan waktu pemeliharaan adalah 11750 jam operasi.

#### 4.2.5 Evaluasi Kuantitatif Komponen Exchanger 482-H-02

Dalam rentan waktu dari tahun 2008 sampai dengan tahun 2015 terjadi kerusakan pada komponen *exchanger* 482-H-02 Berikut merupakan data kerusakan komponen *exchanger* 482-H-02

**Tabel 4.28.** Data kerusakan komponen *exchanger* 482-H-02

No	Raise Date	Finish Date	TTF (day)	TTF (hours)
1	06/27/2010	06/24/2012	728	17472
2	06/25/2012	10/05/2012	102	2448
Jumlah			830	19920

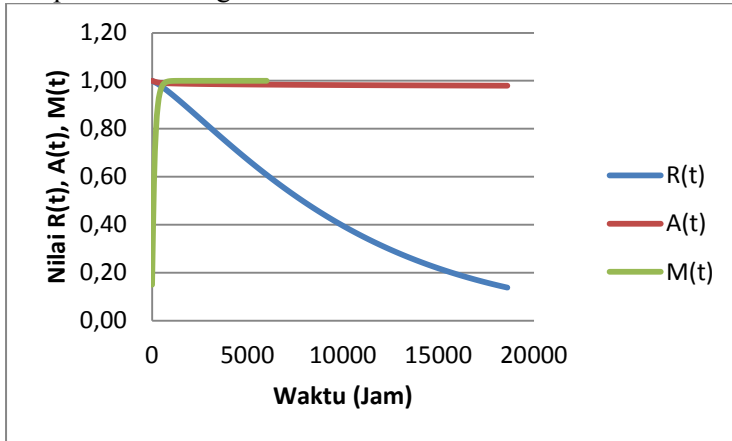
Berdasarkan data *maintenance record* didapatkan distribusi *Time To Failure* (TTF) yang sesuai yaitu distribusi weibull dengan parameter  $\beta=1,2208$  dan  $\eta=10633$ . distribusi weibull memiliki karakteristik laju kegagalan tinggi terhadap waktu Hasil pengolahan data kegagalan nilai masukan (*input*) untuk uji distribusi waktu kegagalan menggunakan *software Reliasoft Weibull 6++*. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.29 di bawah ini.

**Tabel 4.29.** Data Pengujian Distribusi Waktu Kegagalan *exchanger* 482-H-02

Distribusi	AVGOF	AVPLOT	LKV	Rnk.
Eksponential 1	0.00088	18.162	-20.412	4
Eksponential 2	DISCARD	DISCARD	DISCARD	5
Normal	0.0056	16.66	-20.87	3
Lognormal	0.0056	16.66	-20.56	2
Weibull 2	0.00096	16.449	-20.35	1
Weibull 3	DISCARD	DISCARD	DISCARD	5

Berdasarkan data pengujian pada Tabel 4.29, nilai AVGOF (*average goodness of fit*), AVPLOT (*average of plot fit*) dan LKV (*likelihood function*) terkecil terdapat pada jenis distribusi weibull 2. Nilai AVGOF, AVPLOT, dan LKV terkecil merupakan nilai terbaik untuk hasil uji distribusi waktu kegagalan. Setelah diketahui distribusi dan parameter

data tersebut digunakan untuk mencari nilai dari reliability, availability dan maintainability. Berikut merupakan grafik dari komponen exchanger 482-H-02:

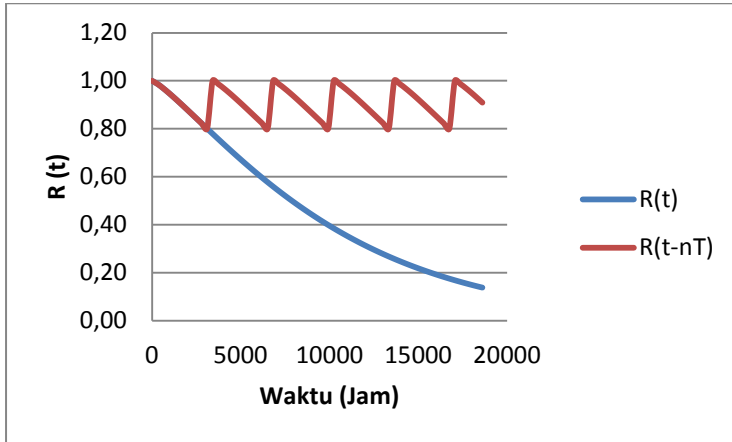


**Gambar 4.16.** Grafik Keandalan (*Reliability*), *Availability*, *Maintainability* pada Komponen *exchanger* 482-H-02

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa komponen *exchanger* memiliki nilai keandalan 0.8 pada interval 310 jam operasi. Nilai availability pada komponen *exchanger* dicari dengan menggunakan persamaan 2.21, dan didapatkan nilai pada interval 310 jam operasi komponen *exchanger* mempunyai nilai *availability* sebesar 0.9. Hal ini menunjukkan bahwa komponen ini memiliki ketersediaan yang masih tinggi pada jam operasi ke-310. Sedangkan untuk mencari nilai *maintainability* menggunakan distribusi Time To Repair (TTR) dimana data tersebut dimasukkan kedalam persamaan 2.15. Nilai *maintainability* 1.0 didapatkan pada jam ke-800.

Setelah didapatkan nilai keandalan (*reliability*) selanjutnya dilakukan uji performansi sistem ketika tindakan *preventive maintenance* diberikan pada komponen *exchanger* pada sistem gas kriogenik. Berikut merupakan gambar

komponen *exchanger* setelah dilakukan perlakuan *preventive maintenance*.



**Gambar 4.17.** Grafik Keandalan (*Reliability*), *Availability*, *Maintainability* pada Komponen *exchanger* 482-H-02

Pada gambar xx menunjukkan bahwa pemeliharaan yang tepat pada komponen *exchanger* adalah dilakukan *preventive maintenance* dengan waktu pemeliharaan adalah 3100 jam operasi.

#### 4.2.6 Evaluasi Kuantitatif Komponen *Recompressor* 482-C-02

Dalam rentan waktu dari tahun 2008 sampai dengan tahun 2015 terjadi kerusakan pada komponen *recompressor* 482-C-02. Berikut merupakan data kerusakan komponen *recompressor* 482-C-02...

**Tabel 4.30.** Data Kerusakan Komponen Recompressor 482-C-02

No	Raise Date	Finish Date	TTF (day)	TTF (hours)
1	11/27/2012	02/12/2013	77	1848
2	02/12/2013	02/17/2014	370	8880
<b>Jumlah</b>			<b>447</b>	<b>10728</b>

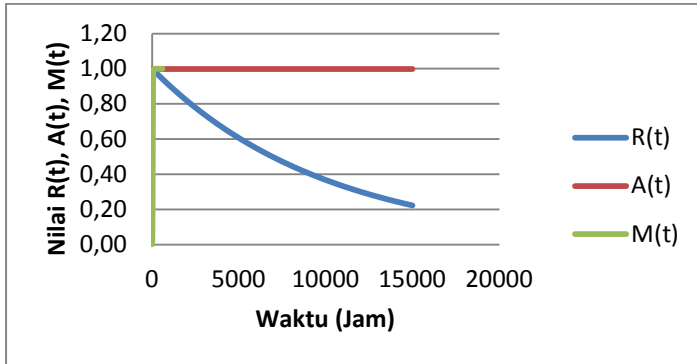
Berdasarkan data *maintenance record* didapatkan distribusi *Time To Failure* (TTF) yang sesuai yaitu distribusi *exponential* dengan parameter  $\lambda=0.0001$ . Distribusi *exponential* memiliki karakteristik laju kegagalan konstan terhadap waktu. Hasil pengolahan data kegagalan nilai masukan (*input*) untuk uji distribusi waktu kegagalan menggunakan *software Reliasoft Weibull 6++*. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.30 di bawah ini.

**Tabel 4.31.** Data Pengujian Distribusi Waktu Kegagalan

Distribusi	AVGOF	AVPLOT	LKV	Rnk.
<b>Eksponential 1</b>	0.00024	14.784	-19.246	1
<b>Eksponential 2</b>	DISCARD	DISCARD	DISCARD	4
<b>Normal</b>	0.128	16.66	-19.68	3
<b>Lognormal</b>	0.128	16.66	-19.478	3
<b>Weibull 2</b>	0.128	16.66	-19.473	2
<b>Weibull 3</b>	DISCARD	DISCARD	DISCARD	4

Berdasarkan data pengujian pada Tabel 4.30, nilai AVGOF (*average goodness of fit*), AVPLOT (*average of plot fit*) dan LKV (*likelihood function*) terkecil terdapat pada jenis distribusi weibull 2. Nilai AVGOF, AVPLOT, dan LKV terkecil merupakan nilai terbaik untuk hasil uji distribusi

waktu kegagalan. Setelah diketahui distribusi dan parameter data tersebut digunakan untuk mencari nilai dari reliability, availability dan maintainability. Berikut merupakan grafik dari komponen recompressor 482-C-02:

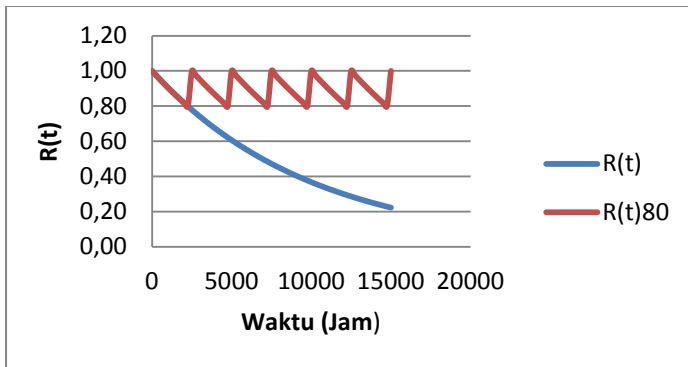


**Gambar 4.18.** Grafik Keandalan (*Reliability*), *Availability*, *Maintainability* pada Komponen *Shutdown Valve*

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa komponen *compressor* memiliki nilai keandalan 0.8 pada interval 2250jam operasi. Nilai *availability* pada komponen *compressor* dicari dengan menggunakan persamaan 2.21, dan didapatkan nilai pada interval 250 jam operasi komponen *exchanger* mempunyai nilai *availability* sebesar 0.98. Hal ini menunjukkan bahwa komponen ini memiliki ketersediaan yang masih tinggi pada jam operasi ke-1100. Sedangkan untuk mencari nilai *maintainability* menggunakan distribusi Time To Repair (TTR) dimana data tersebut dimasukkan kedalam persamaan 2.15. Nilai *maintainability* 1.0 didapatkan pada jam ke-80.

Setelah didapatkan nilai keandalan (*reliability*) selanjutnya dilakukan uji performansi sistem ketika tindakan *preventive maintenance* diberikan pada komponen

*recompressor* pada sistem gas kriogenik. Berikut merupakan gambar komponen *compressor* setelah dilakukan perlakuan preventive maintenance.



**Gambar 4.19.** Grafik Keandalan (*Reliability*), *Availability*, *Maintainability* pada Komponen *Shutdown Valve*

Pada gambar xx menunjukkan bahwa pemeliharaan yang tepat pada komponen exchanger adalah dilakukan *preventive maintenance* dengan waktu pemeliharaan adalah 2250 jam operasi.

#### 4.2.7 Evaluasi Kuantitatif Komponen Pompa 482-P-01 A/B

Dalam rentan waktu dari tahun 2008 sampai dengan tahun 2015 terjadi kerusakan pada komponen pompa 482-P-01 A/B. Berikut merupakan data kerusakan komponen pompa 482-P-01 A/B.



**Tabel 4.32** : Data kerusakan komponen pompa 482-P-01 A/B.

<b>No</b>	<b><i>Raise Date</i></b>	<b><i>Finish Date</i></b>	<b>TTF (day)</b>	<b>TTF (hours)</b>
1	04/02/2009	04/05/2009	3	72
2	04/09/2009	05/19/2009	40	960
3	05/19/2009	05/20/2009	1	24
4	05/24/2009	06/04/2009	11	264
5	06/27/2009	09/14/2009	79	1896
6	09/14/2009	11/22/2009	69	1656
7	11/26/2009	12/29/2009	33	792
8	01/02/2010	01/14/2010	12	288
9	01/14/2010	02/03/2010	20	480
10	02/03/2010	03/04/2010	29	696
11	03/08/2010	03/19/2010	11	264
12	03/23/2010	03/25/2010	2	48
13	04/17/2010	02/10/2011	299	7176
14	02/10/2011	03/14/2011	32	768
15	03/14/2011	03/31/2011	17	408

(Lanjutan tabel.32)

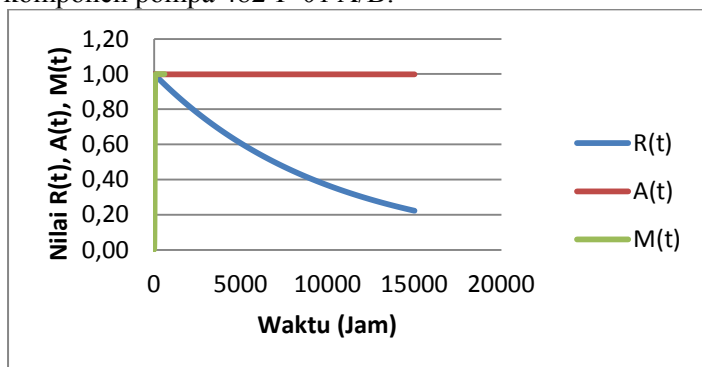
No	Raise Date	Finish Date	TTF (day)	TTF (hours)
16	03/31/2011	05/11/2011	41	984
17	05/11/2011	09/12/2011	124	2976
18	09/12/2011	01/05/2012	115	2760
19	01/05/2012	01/10/2012	5	120
20	01/10/2012	06/18/2012	160	3840
21	06/22/2012	09/17/2012	87	2088
22	09/17/2012	11/27/2012	71	1704
23	11/27/2012	12/14/2012	17	408
24	12/17/2012	09/02/2013	259	6216
25	09/03/2013	06/30/2014	300	7200
26	07/03/2014	02/03/2015	215	5160
<b>Jumlah</b>			2052	49248

Berdasarkan data *maintenance record* didapatkan distribusi *Time To Failure* (TTF) yang sesuai yaitu distribusi *exponential* dengan parameter  $\beta=0.792$  dan  $\eta=1660.338$ . Distribusi *weibull* memiliki karakteristik laju kegagalan semakin lama nilainya akan semakin kecil terhadap waktu. Hasil pengolahan data kegagalan nilai masukan (*input*) untuk uji distribusi waktu kegagalan menggunakan *software Reliasoft Weibull 6++*. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.33 di bawah ini.

**Tabel 4.33.** Data Pengujian Distribusi Waktu Kegagalan pompa 482-P-01 A/B.

Distribusi	AVGOF	AVPLOT	LKV	Rnk.
Ekspponential 1	25.5631	5.377	-222.20	3
Ekspponential 2	DISCARD	DISCARD	DISCARD	5
Normal	79.8304	9.786	-21.581	4
Lognormal	3.66	3.774	-21.24	2
Weibull 2	0.0029	2.66.08	-220.94	1
Weibull 3	DISCARD	DISCARD	DISCARD	5

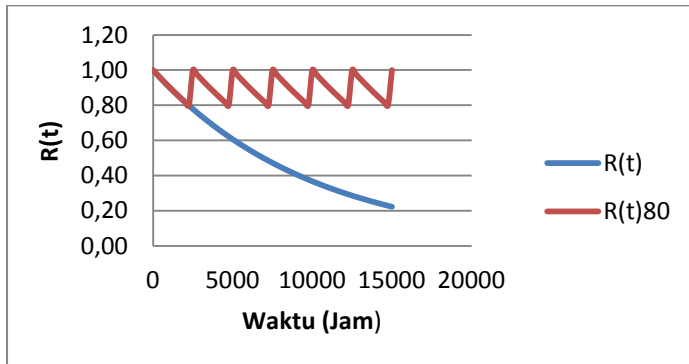
Berdasarkan data pengujian pada Tabel 4.33, nilai AVGOF (*average goodness of fit*), AVPLOT (*average of plot fit*) dan LKV (*likelihood function*) terkecil terdapat pada jenis distribusi weibull 2. Nilai AVGOF, AVPLOT, dan LKV terkecil merupakan nilai terbaik untuk hasil uji distribusi waktu kegagalan. Setelah diketahui distribusi dan parameter data tersebut digunakan untuk mencari nilai dari reliability, availability dan maintainability. Berikut merupakan grafik dari komponen pompa 482-P-01 A/B:



**Gambar 4.20.** Grafik Keandalan (*Reliability*), *Availability*, *Maintainability* pada Komponen pompa 482-P-01 A/B.

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa komponen pompa memiliki nilai keandalan 0.8 pada interval 250jam operasi. Nilai *availability* pada komponen *pompa* dicari dengan menggunakan persamaan 2.21, dan didapatkan nilai pada interval 250 jam operasi komponen *exchanger* mempunyai nilai *availability* sebesar 0.94. Hal ini menunjukkan bahwa komponen ini memiliki ketersediaan yang masih tinggi pada jam operasi ke-200. Sedangkan untuk mencari nilai *maintainability* menggunakan distribusi Time To Repair (TTR) dimana data tersebut dimasukkan kedalam persamaan 2.15. Nilai *maintainability* 1.0 didapatkan pada jam ke-425.

Setelah didapatkan nilai keandalan (*reliability*) selanjutnya dilakukan uji performansi sistem ketika tindakan *preventive maintenance* diberikan pada komponen *recompressor* pada sistem gas kriogenik. Berikut merupakan gambar komponen pompa setelah dilakukan perlakuan *preventine maintenance*.



**Gambar 4.21.** Grafik Performansi Keandalan Ketika Tindakan *Preventive Maintenance* Diberikan pada Komponen Pompa 482-P-01 A/B

Pada gambar 4.21 menunjukkan bahwa pemeliharaan yang tepat pada komponen exchanger adalah dilakukan *preventive maintenance* dengan waktu pemeliharaan adalah 250 jam operasi.

#### **4.2.8 Nilai Keandalan (*Reliability*) Komponen Sistem Gas Kriogenik**

Berdasarkan analisa kuantitatif yang telah dilakukan maka didapatkan urutan nilai realibility pada komponen sistem gas kriogenik, diketahui bahwa komponen pada sistem gas kriogenik yang memiliki keandalan (*reliability*) paling tinggi pada interval jam operasi ke 2500 adalah *shut down valve* dan *blow down valve* dengan nilai keandalan (*reliability*) sebesar 0.95, komponen *exchanger* 482-H-01 dengan nilai keandalan (*reliability*) sebesar 0.85, komponen *exchanger* 482-H-02 dengan nilai keandalan (*reliability*) sebesar 0.84, komponen *compressor* 482-C-01 dengan nilai keandalan (*reliability*) sebesar 0.78, komponen *exchanger* 482-C-02 dengan nilai keandalan (*reliability*) sebesar 0.61, sedangkan komponen pompa 482-P-01 A/B dengan nilai keandalan (*reliability*) sebesar 0.25. dari hasil yang didapat menunjukkan bahwa semakin kecil nilai keandalan (*reliability*) yang dimiliki pada suatu komponen menunjukkan semakin kritis komponen tersebut.

## PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan secara kuantitatif dan secara kualitatif maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- a. Komponen penyusun sistem gas kriogenik yang dikategorikan sebagai komponen kritis adalah sebagai berikut: *exchanger* 482-H-01, *compressor* 482-C-01, *shut down valve*, *blow down valve*, *exchanger* 482-H-02, *recompressor* 482-C-02, pompa, *temperature transmitter*, *pressure transmitter*, *level transmitter*
- b.
- c. Berdasarkan dari data analisa kuantitatif pada system gas kriogenik didapatkan Interval perawatan terhadap komponen kritis antara lain:
  - *exchanger* 482-H-01 memiliki interval perawatan yang optimal adalah 4000 jam atau 167 hari
  - *exchanger* 482-H-02 memiliki interval perawatan yang optimal adalah 3100 jam atau 130 hari
  - *compressor* 482-C-01 memiliki interval perawatan yang optimal adalah 1100 jam atau 46 hari
  - *recompressor* 482-C-02 memiliki interval perawatan yang optimal adalah 2250 jam atau 94 hari
  - pompa 482-P-01 A/B memiliki interval perawatan yang optimal adalah 250jam atau 11 hari
  - *shut down valve* memiliki interval perawatan yang optimal adalah 9750 jam atau 407 hari
  - *blow down valve* memiliki interval perawatan yang optimal adalah untuk komponen cooler 11750 jam atau 490 hari
- d. Berdasarkan dari data analisa kuantitatif pada system gas kriogenik mode kegagalan dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu:

- Mode kegagalan mempengaruhi operasional sistem antara lain : Abnormal Instrument Reading (AIR), Structural Deficiencies (STD), Over heating (OHE), Erratic output (ERO), Erratic output (ERO),
  - Mode kegagalan yang berdampak terhadap keselamatan pekerja dan lingkungan antara lain : External leakage (ELP), Chocked/Plugged (PLU), Noise (NOI).
  - Mode kegagalan yang tidak dapat dibuktikan secara langsung (*hidden failure*) antara lain: Fail to start on demand Internal leakage (FTS), Internal leakage (INL).
- e. Berdasarkan analisa data kualitatif yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa tindakan pencegahan yang tepat untuk menghindari *function failure* dari sistem *flash gas compression* adalah sebagai berikut.
- Tindakan pencegahan *scheduled on-condition task* digunakan pada komponen *exchanger* 482-H-01, *exchanger* 482-H-02, *compressor* 482-C-01, *recompressor* 482-C-02, pompa 482-P-01 A/B
  - Tindakan pencegahan *Scheduled Restoration Task* digunakan pada komponen transmitter dan *control valve*

## ***Lampiran A Data Perhitungan Kuantitatif***

### **DATA PERHITUNGAN KUANTITATIF**

Pada lampiran ini berisi tentang data-data hasil perhitungan kuantitatif yang telah dilakukan pada proses gas kriogenik. Berikut adalah data hasil perhitungan yang telah dilakukan

**Tabel AI.** Data Perhitungan Kuantitatif Komponen *Exchanger* 482-H-01 pada Sistem Gas Kriogenik

<b>t (hours)</b>	<b>R(t)</b>	<b>A(t)</b>	<b>M(t)</b>	<b>R(t-nT)</b>	<b>Rm(t)</b>
0.01	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00
250	0.99	1.00	0.68	0.98	0.98
500	0.98	0.99	0.89	0.96	0.96
750	0.97	0.99	0.97	0.94	0.94
1000	0.96	0.99	0.99	0.92	0.92
1250	0.94	0.99	1.00	0.90	0.90
1500	0.93	0.99	1.00	0.89	0.89
1750	0.92	0.99	1.00	0.87	0.87
2000	0.91	0.99	1.00	0.85	0.85
2250	0.89	0.99	1.00	0.84	0.84
2500	0.88	0.99	1.00	0.82	0.82
2750	0.87	0.99	1.00	0.80	0.80
3000	0.85	0.99	1.00	1.00	0.80
3250	0.84	0.99	1.00	0.98	0.78
3500	0.83	0.99	1.00	0.96	0.77
3750	0.82	0.99	1.00	0.94	0.75
4000	0.80	0.99	1.00	0.92	0.74
4250	0.79	0.99	1.00	0.90	0.72
4500	0.78	0.99	1.00	0.89	0.71
4750	0.76	0.99	1.00	0.87	0.70
5000	0.75	0.99	1.00	0.85	0.68
5250	0.74	0.99	1.00	0.84	0.67



5500	0.73	0.99	1.00	0.82	0.65
5750	0.71	0.99	1.00	0.80	0.64
6000	0.70	0.99	1.00	1.00	0.64
6250	0.69	0.99	1.00	0.98	0.63
6500	0.68	0.99	1.00	0.96	0.61
6750	0.67	0.99	1.00	0.94	0.60
7000	0.65	0.99	1.00	0.92	0.59
7250	0.64	0.99	1.00	0.90	0.58
7500	0.63	0.99	1.00	0.89	0.57
7750	0.62	0.99	1.00	0.87	0.56
8000	0.61	0.99	1.00	0.85	0.55
8250	0.60	0.99	1.00	0.84	0.53
8500	0.59	0.99	1.00	0.82	0.52
8750	0.58	0.99	1.00	0.80	0.51
9000	0.57	0.99	1.00	1.00	0.51
9250	0.56	0.99	1.00	0.98	0.50
9500	0.55	0.99	1.00	0.96	0.49
9750	0.54	0.99	1.00	0.94	0.48
10000	0.53	0.99	1.00	0.92	0.47
10250	0.52	0.99	1.00	0.90	0.46
10500	0.51	0.99	1.00	0.89	0.45
10750	0.50	0.99	1.00	0.87	0.45
11000	0.49	0.99	1.00	0.85	0.44
11250	0.48	0.99	1.00	0.84	0.43
11500	0.47	0.99	1.00	0.82	0.42

**Tabel A2.** Data Perhitungan Kuantitatif komponen *compressor* 482-C-01 Pada Sistem GasKriogenik

t (hours)	R(t)	A(t)	M(t)	R(t-nT)	Rm(t)
0	1.00	1	0	1.00	1.00
100	0.98	0.988097	100	0.98	0.98
200	0.96	0.984313	200	0.95	0.95
300	0.94	0.98311	300	0.93	0.93
400	0.92	0.982728	400	0.90	0.90
500	0.90	0.982607	500	0.88	0.88
600	0.89	0.982568	600	0.86	0.86
700	0.87	0.982556	700	0.84	0.84
800	0.85	0.982552	800	0.82	0.82
900	0.84	0.98255	900	0.80	0.80
1000	0.82	0.98255	1000	0.78	0.80
1100	0.80	0.98255	1100	0.76	0.78
1200	0.79	0.98255	0	0.74	0.76
1300	0.77	0.98255	100	0.72	0.74
1400	0.76	0.98255	200	0.70	0.72
1500	0.74	0.98255	300	0.69	0.71
1600	0.73	0.98255	400	0.67	0.69
1700	0.71	0.98255	500	0.65	0.67
1800	0.70	0.98255	600	0.64	0.65
1900	0.68	0.98255	700	0.62	0.64
2000	0.67	0.98255	800	0.61	0.64
2100	0.66	0.98255	900	0.59	0.62
2200	0.64	0.98255	1000	0.58	0.61
2300	0.63	0.98255	1100	0.56	0.59
2400	0.62	0.98255	0	0.55	0.58
2500	0.61	0.98255	100	0.54	0.56
2600	0.59	0.98255	200	0.52	0.55

2700	0.58	0.98255	300	0.51	0.54
2800	0.57	0.98255	400	0.50	0.52
2900	0.56	0.98255	500	0.48	0.51
3000	0.55	0.98255	600	0.47	0.51
3100	0.54	0.98255	700	0.46	0.50
3200	0.53	0.98255	800	0.45	0.49
3300	0.52	0.98255	900	0.44	0.48
3400	0.51	0.98255	1000	0.43	0.46
3500	0.50	0.98255	1100	0.42	0.45
3600	0.49	0.98255	0	0.41	0.44
3700	0.48	0.98255	100	1.00	0.43
3800	0.47	0.98255	200	0.98	0.42
3900	0.46	0.98255	300	0.95	0.41
4000	0.45	0.98255	400	0.93	0.41
4100	0.44	0.98255	500	0.90	0.40
4200	0.43	0.98255	600	0.88	0.39
4300	0.42	0.98255	700	0.86	0.38
4400	0.41	0.98255	800	0.84	0.37
4500	0.41	0.98255	900	0.82	0.36
4600	0.40	0.98255	1000	0.80	0.35

4.1.3. **Tabel A3.** Data Perhitungan Kuantitatif komponen *Shut Down Valve* Pada Sistem Gas Kriogenik

<b>t (hours)</b>	<b>R(t)</b>	<b>A(t)</b>	<b>0.00</b>	<b>R(t-nT)</b>	<b>Rm(t)</b>
0	1.00	1	1.00	1.00	1.00
250	0.99	0.999931	1.00	0.99	0.99
500	0.99	0.999931	1.00	0.99	0.99
750	0.98	0.999931	1.00	0.98	0.98
1000	0.98	0.999931	1.00	0.98	0.98
1250	0.97	0.999931	1.00	0.97	0.97

1500	0.97	0.999931	1.00	0.97	0.97
1750	0.96	0.999931	1.00	0.96	0.96
2000	0.96	0.999931	1.00	0.96	0.96
2250	0.95	0.999931	1.00	0.95	0.95
2500	0.95	0.999931	1.00	0.95	0.95
2750	0.94	0.999931	1.00	0.94	0.94
3000	0.94	0.999931	1.00	0.94	0.94
3250	0.93	0.999931	1.00	0.93	0.93
3500	0.93	0.999931	1.00	0.93	0.93
3750	0.92	0.999931	1.00	0.92	0.92
4000	0.91	0.999931	1.00	0.91	0.91
4250	0.91	0.999931	1.00	0.91	0.91
4500	0.90	0.999931	1.00	0.90	0.90
4750	0.90	0.999931	1.00	0.90	0.90
5000	0.89	0.999931	1.00	0.89	0.89
5250	0.89	0.999931	1.00	0.89	0.89
5500	0.88	0.999931	1.00	0.88	0.88
5750	0.88	0.999931	1.00	0.88	0.88
6000	0.87	0.999931	1.00	0.87	0.87
6250	0.87	0.999931	1.00	0.87	0.87
6500	0.87	0.999931	1.00	0.87	0.87
6750	0.86	0.999931	1.00	0.86	0.86
7000	0.86	0.999931	1.00	0.86	0.86
7250	0.85	0.999931	1.00	0.85	0.85
7500	0.85	0.999931	1.00	0.85	0.85
7750	0.84	0.999931	1.00	0.84	0.84
8000	0.84	0.999931	1.00	0.84	0.84
8250	0.83	0.999931	1.00	0.83	0.83
8500	0.83	0.999931	1.00	0.83	0.83
8750	0.82	0.999931	1.00	0.82	0.82

9000	0.82	0.999931	1.00	0.82	0.82
9250	0.81	0.999931	1.00	0.81	0.81
9500	0.81	0.999931	1.00	0.81	0.81
9750	0.80	0.999931	1.00	0.80	0.80
10000	0.80	0.999931	1.00	1.00	0.80
10250	0.80	0.999931	1.00	0.99	0.80
10500	0.79	0.999931	1.00	0.99	0.79
10750	0.79	0.999931	1.00	0.98	0.79
11000	0.78	0.999931	1.00	0.98	0.78
11250	0.78	0.999931	1.00	0.97	0.78
11500	0.77	0.999931	1.00	0.97	0.77

**Tabel A4.** Data Perhitungan Kuantitatif komponen *Blowdown Valve* Pada Sistem Gas Kriogenik

<b>t (hours)</b>	<b>R(t)</b>	<b>A(t)</b>	<b>M(t)</b>	<b>R(t-nT)</b>	<b>Rm(t)</b>
0	1.00	1	0.00	1.00	1.00
250	1.00	0.999931	1.00	1.00	1.00
500	0.99	0.999931	1.00	0.99	0.99
750	0.99	0.999931	1.00	0.99	0.99
1000	0.98	0.999931	1.00	0.98	0.98
1250	0.98	0.999931	1.00	0.98	0.98
1500	0.97	0.999931	1.00	0.97	0.97
1750	0.97	0.999931	1.00	0.97	0.97
2000	0.96	0.999931	1.00	0.96	0.96
2250	0.96	0.999931	1.00	0.96	0.96
2500	0.95	0.999931	1.00	0.95	0.95
2750	0.95	0.999931	1.00	0.95	0.95
3000	0.95	0.999931	1.00	0.95	0.95
3250	0.94	0.999931	1.00	0.94	0.94
3500	0.94	0.999931	1.00	0.94	0.94

3750	0.93	0.999931	1.00	0.93	0.93
4000	0.93	0.999931	1.00	0.93	0.93
4250	0.92	0.999931	1.00	0.92	0.92
4500	0.92	0.999931	1.00	0.92	0.92
4750	0.92	0.999931	1.00	0.92	0.92
5000	0.91	0.999931	1.00	0.91	0.91
5250	0.91	0.999931	1.00	0.91	0.91
5500	0.90	0.999931	1.00	0.90	0.90
5750	0.90	0.999931	1.00	0.90	0.90
6000	0.89	0.999931	1.00	0.89	0.89
6250	0.89	0.999931	1.00	0.89	0.89
6500	0.89	0.999931	1.00	0.89	0.89
6750	0.88	0.999931	1.00	0.88	0.88
7000	0.88	0.999931	1.00	0.88	0.88
7250	0.87	0.999931	1.00	0.87	0.87
7500	0.87	0.999931	1.00	0.87	0.87
7750	0.87	0.999931	1.00	0.87	0.87
8000	0.86	0.999931	1.00	0.86	0.86
8250	0.86	0.999931	1.00	0.86	0.86
8500	0.85	0.999931	1.00	0.85	0.85
8750	0.85	0.999931	1.00	0.85	0.85
9000	0.85	0.999931	1.00	0.85	0.85
9250	0.84	0.999931	1.00	0.84	0.84
9500	0.84	0.999931	1.00	0.84	0.84
9750	0.83	0.999931	1.00	0.83	0.83
10000	0.83	0.999931	1.00	0.83	0.83
10250	0.83	0.999931	1.00	0.83	0.83
10500	0.82	0.999931	1.00	0.82	0.82
10750	0.82	0.999931	1.00	0.82	0.82
11000	0.82	0.999931	1.00	0.82	0.82

11250	0.81	0.999931	1.00	0.81	0.81
11500	0.81	0.999931	1.00	0.81	0.81

**Tabel A5.** Data Perhitungan Kuantitatif komponen *exchanger* 482-H-02 Pada Sistem Gas Kriogenik

t (hours)	R(t)	A(t)	M(t)	R(t-nT)	Rm(t)
0	1.00	1.00	0.15	1.00	1.00
310	0.99	0.99	0.58	0.99	0.99
620	0.97	0.99	0.79	0.97	0.97
930	0.95	0.99	0.89	0.95	0.95
1240	0.93	0.99	0.95	0.93	0.93
1550	0.91	0.99	0.97	0.91	0.91
1860	0.89	0.99	0.99	0.89	0.89
2170	0.87	0.99	0.99	0.87	0.87
2480	0.84	0.99	1.00	0.84	0.84
2790	0.82	0.99	1.00	0.82	0.82
3100	0.80	0.99	1.00	0.80	0.80
3410	0.78	0.99	1.00	1.00	0.80
3720	0.76	0.99	1.00	0.99	0.79
4030	0.74	0.99	1.00	0.97	0.78
4340	0.72	0.99	1.00	0.95	0.76
4650	0.69	0.98	1.00	0.93	0.74
4960	0.67	0.98	1.00	0.91	0.73
5270	0.65	0.98	1.00	0.89	0.71
5580	0.63	0.98	1.00	0.87	0.69
5890	0.61	0.98	1.00	0.84	0.68
6200	0.60	0.98	1.00	0.82	0.66
6510	0.58	0.98	1.00	0.80	0.64
6820	0.56	0.98	1.00	1.00	0.64
7130	0.54	0.98	1.00	0.99	0.63

7440	0.52	0.98	1.00	0.97	0.62
7750	0.51	0.98	1.00	0.95	0.61
8060	0.49	0.98	1.00	0.93	0.60
8370	0.47	0.98	1.00	0.91	0.58
8680	0.46	0.98	1.00	0.89	0.57
8990	0.44	0.98	1.00	0.87	0.55
9300	0.43	0.98	1.00	0.84	0.54
9610	0.41	0.98	1.00	0.82	0.53
9920	0.40	0.98	1.00	0.80	0.51
10230	0.39	0.98	1.00	1.00	0.51
10540	0.37	0.98	1.00	0.99	0.51
10850	0.36	0.98	1.00	0.97	0.50
11160	0.35	0.98	1.00	0.95	0.49
11470	0.33	0.98	1.00	0.93	0.48
11780	0.32	0.98	1.00	0.91	0.47
12090	0.31	0.98	1.00	0.89	0.45
12400	0.30	0.98	0.15	0.87	0.44
12710	0.29	0.98	0.58	0.84	0.43
13020	0.28	0.98	0.79	0.82	0.42
13330	0.27	0.98	0.89	0.80	0.41
13640	0.26	0.98	0.95	1.00	0.41
13950	0.25	0.98	0.97	0.99	0.40
14260	0.24	0.98	0.99	0.97	0.40

4.1.6. **Tabel A6.** Data Perhitungan Kuantitatif komponen  
*Recompressor* 482-C-02 Pada Gas Kriogenik

t (hours)	R(t)	A(t)	M(t)	R(t-nT)	Rm(t)
0	1.00	1	0.00	1.00	1.00
250	0.98	0.998403	0.02	0.98	0.98
500	0.95	0.998403	0.07	0.95	0.95



750	0.93	0.998403	0.24	0.93	0.93
1000	0.90	0.998403	0.50	0.90	0.90
1250	0.88	0.998403	0.76	0.88	0.88
1500	0.86	0.998403	0.93	0.86	0.86
1750	0.84	0.998403	0.98	0.84	0.84
2000	0.82	0.998403	1.00	0.82	0.82
2250	0.80	0.998403	1.00	0.80	0.80
2500	0.78	0.998403	1.00	1.00	0.80
2750	0.76	0.998403	1.00	0.98	0.78
3000	0.74	0.998403	1.00	0.95	0.76
3250	0.72	0.998403	1.00	0.93	0.74
3500	0.70	0.998403	1.00	0.90	0.72
3750	0.69	0.998403	1.00	0.88	0.71
4000	0.67	0.998403	1.00	0.86	0.69
4250	0.65	0.998403	1.00	0.84	0.67
4500	0.64	0.998403	1.00	0.82	0.65
4750	0.62	0.998403	1.00	0.80	0.64
5000	0.61	0.998403	1.00	1.00	0.64
5250	0.59	0.998403	1.00	0.98	0.62
5500	0.58	0.998403	1.00	0.95	0.61
5750	0.56	0.998403	1.00	0.93	0.59
6000	0.55	0.998403	1.00	0.90	0.58
6250	0.54	0.998403	1.00	0.88	0.56
6500	0.52	0.998403	1.00	0.86	0.55
6750	0.51	0.998403	1.00	0.84	0.54
7000	0.50	0.998403	1.00	0.82	0.52
7250	0.48	0.998403	1.00	0.80	0.51
7500	0.47	0.998403	1.00	1.00	0.51
7750	0.46	0.998403	1.00	0.98	0.50
8000	0.45	0.998403	1.00	0.95	0.49

8250	0.44	0.998403	1.00	0.93	0.48
8500	0.43	0.998403	1.00	0.90	0.46
8750	0.42	0.998403	1.00	0.88	0.45
9000	0.41	0.998403	1.00	0.86	0.44
9250	0.40	0.998403	1.00	0.84	0.43
9500	0.39	0.998403	1.00	0.82	0.42
9750	0.38	0.998403	1.00	0.80	0.41
10000	0.37	0.998403	1.00	1.00	0.41
10250	0.36	0.998403	1.00	0.98	0.40
10500	0.35	0.998403	1.00	0.95	0.39
10750	0.34	0.998403	1.00	0.93	0.38
11000	0.33	0.998403	1.00	0.90	0.37
11250	0.32	0.998403	1.00	0.88	0.36
11500	0.32	0.998403	1.00	0.86	0.35

**Tabel A7.** Data Perhitungan Kuantitatif komponen pompa 482-P-01 A/B Pada Sistem Gas Kriogenik

<b>t (hours)</b>	<b>R(t)</b>	<b>A(t)</b>	<b>M(t)</b>	<b>R(t-nT)</b>	<b>Rm(t)</b>
0.01	1.00	1.00	0.23	1.00	1.00
50	0.94	0.96	0.44	0.94	0.94
100	0.90	0.95	0.59	0.90	0.90
150	0.86	0.95	0.70	0.86	0.86
200	0.83	0.94	0.78	0.83	0.83
250	0.80	0.94	0.84	0.80	0.80
300	0.77	0.94	0.88	1.00	0.80
350	0.75	0.95	0.91	0.94	0.75
400	0.72	0.95	0.94	0.90	0.72
450	0.70	0.95	0.95	0.86	0.69
500	0.68	0.95	0.97	0.83	0.66
550	0.66	0.95	0.98	0.80	0.64

600	0.64	0.95	0.98	1.00	0.64
650	0.62	0.95	0.99	0.94	0.60
700	0.60	0.95	0.99	0.90	0.57
750	0.59	0.95	0.99	0.86	0.55
800	0.57	0.95	0.99	0.83	0.53
850	0.56	0.95	1.00	0.80	0.51
900	0.54	0.95	1.00	1.00	0.51
950	0.53	0.95	1.00	0.94	0.48
1000	0.51	0.95	1.00	0.90	0.46
1050	0.50	0.96	1.00	0.86	0.44
1100	0.49	0.96	1.00	0.83	0.42
1150	0.47	0.96	1.00	0.80	0.41
1200	0.46	0.96	1.00	1.00	0.41
1250	0.45	0.96	1.00	0.94	0.38
1300	0.44	0.96	1.00	0.90	0.37
1350	0.43	0.96	1.00	0.86	0.35
1400	0.42	0.96	1.00	0.83	0.34
1450	0.41	0.96	1.00	0.80	0.33
1500	0.40	0.96	1.00	1.00	0.33
1550	0.39	0.96	1.00	0.94	0.31
1600	0.38	0.96	1.00	0.90	0.29
1650	0.37	0.96	1.00	0.86	0.28
1700	0.36	0.96	1.00	0.83	0.27
2500	0.25	0.96	1.00	0.80	0.26

## BIODATA



Nama Penulis Fani Wahyu Rahardito, dilahirkan di Mojokerto, 13 Mei 1992. Riwayat pendidikan penulis dimulai dari TK PG Watoetoelis Prambon Sidoarjo, dilanjutkan di SD Negeri Krian 4 Sidoarjo, dilanjutkan di SMA Negeri 1 Tarik Sidoarjo, dilanjutkan di D3 Teknik Instrumentasi FTI-ITS, dan tahun 2013 masuk S1 Lintas Jalur

Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS Surabaya dengan NRP : 2413 105 032. Apabila terdapat pertanyaan tentang tugas akhir penulis maka dapat menghubungi No.Telpon Penulis yaitu : 087853818082, dan dapat juga melalui Email Penulis yaitu : [fani.rahardito13@gmail.com](mailto:fani.rahardito13@gmail.com)

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lebrun.Ph, 2007, *An introduction to cryogenics*. Accelerator Technology Department, CERN, Geneva, Switzerland
- [2] Ebeling, E. Charless, 1997, *Reliability and Maintainability Engineering*. McGraw-Hill Internationald
- [3] Moubray, John, 2000, *Reliability-Centered Maintenance* Lutterworth-Heinemann Ltd, Linacre House-North Carolina.
- [4] Kimura, Fumihiko. 2002. “Reliability Centered Maintenance Planning Base on Computer Aided FMEA”. Tokyo : University of Tokyo – Precision Machinery Engineering.
- [5] Deepak Prabhakar P., Dr. Jagathy Raj V.P. “*A New Model For Reliability Centered Maintenance In Petroleum Refineries*”. International Journal Of Scientific & Technology Research Volume 2, Issue 5, May 2013.
- [6] Meilani, Difana ; Kamil, Insannul dan Satria, Arie “Analisis Reliability Centered Maintenance (RCM) dan Reliability Centered Spares (RCS) pada Unit Rawmill Pabrik Indarung IV PT. Semen Padang”. Padang : Universitas Andalas – Teknik Industri.
- [7] Hendra, Dion. 2015. “Evaluasi *Reliability* dengan Metode Kuantitatif dan Kualitatif RCFA Unit *Superheater* dan *Desuperheater* pada HRSG 3.1 Plant di PT. PJB Unit Pembangkit Gresik”. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember – Teknik Fisika.
- [8] Ya’umar ; Biyanto, Totok Ruki. “Implementasi *Reliability Centered Maintenance* (RCM) pada *Stone Crusher*”.

Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember – Teknik Fisika.

[9] Adikharisma, Revi. 2014. “ Analisa Kinerja Proses CO<sub>2</sub> Removal Di Pabrik Amoniak PT. Petrokimia Gresik”. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember – Teknik Fisika.

[10] SINTEF Technology and Society, *Offshore Reliability Data (OREDA)*, 5th ed. Norway: Oreda Participants, 2009